সরল পদার্থ বিজ্ঞান

(For Pre-University Students)

ডঃ দেবীপ্রসাদ রায়চৌধুরী, ডি. এস্‌-সি.
স্কটিশ চার্চ কলেজের পদার্থবিজ্ঞান বিভাগের
ভূতপূর্ব প্রধান অধ্যাপক

এবং

অধ্যাপক জিতেন্দ্রচন্দ্র মুখোপাধ্যায়, এম. এস্‌-সি.
বহরমপুর কে. এন. কলেজের পদার্থবিজ্ঞানের অধ্যাপক ;
পরীক্ষক, কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়।

এ. মুখার্জী অ্যাণ্ড কোং প্রাইভেট লিঃ
২, বঙ্কিম চ্যাটার্জী স্ট্রীট, কলিকাতা-১২

প্রকাশক :
শ্রীঅমিয়রঞ্জন মুখোপাধ্যায়
ম্যানেজিং ডিরেক্টার
এ, মুখার্জী অ্যাণ্ড কোং প্রাঃ লিঃ
২, বঙ্কিম চ্যাটার্জী স্ট্রীট, কলিকাতা-১২

প্রথম সংস্করণ, আগস্ট ১৯৬০

মুদ্রাকর :
নিউ কমলা প্রেস
৫৭।২, কেশবচন্দ্র সেন স্ট্রীট
কলিকাতা

সূচীপত্র

প্রথম পরিচ্ছেদ

মাপ ও মাপকাঠি

(Units and Measurements)

1·1. প্রস্তাবনা—বিভিন্ন ইন্দ্রিয়ের সাহায্যে বহির্জগতের সঙ্গে আমাদের পরিচয় ঘটে। ইন্দ্রিয়গ্রাহ্য এই জগতে দুইটি বিভিন্ন প্রকৃতির ব্যাপার রহিয়াছে—**Matter** (**পদার্থ**) ও **Energy** (**শক্তি**)। ঘর, বাড়ী, খাতা, বই, কাগজ, কলম, গাড়ী, ঘোড়া, গাছপালা যাহা কিছু দেখি তাহা সমস্তই পদার্থ শ্রেণীভুক্ত। পদার্থের অস্তিত্ব সাক্ষাৎভাবে ইন্দ্রিয় দ্বারা উপলব্ধি করা যায়। শক্তি কি? আমরা চক্ষু দিয়া আলো উপলব্ধি করি, কান দিয়া শব্দ শুনি, ত্বকের সাহায্যে উত্তাপ অনুভব করি। আলো, শব্দ, উত্তাপ ইহারা শক্তির বিভিন্ন রূপ। শক্তি সাক্ষাৎভাবে ইন্দ্রিয়ের সম্মুখে উপস্থিত হয় না, শক্তির আত্মপ্রকাশ ঘটে পদার্থের মধ্য দিয়া। শক্তি পদার্থের মধ্যে কর্মের প্রেরণা যোগায়। একটি কাঠের বল স্থির হইয়া আছে; আমরা একটি পদার্থ দেখিতেছি। হাত দিয়া ধাক্কা দিলাম, বলটি চলিতে লাগিল। পদার্থ সেই একই আছে, কিন্তু এখন উহার মধ্যে শক্তির সঞ্চার হইয়াছে, তাই উহার স্থান-পরিবর্তন ঘটিতেছে। শক্তির প্রভাবেই জড় জগৎ, পদার্থপূর্ণ জগৎ সচল হইয়া উঠে। শক্তির অভাবে উহা স্থাণু।

জড় ও শক্তির সমন্বয়ে গঠিত এই বিচিত্র জগতের সম্যক্ জ্ঞান লাভ করিতে হইলে পদার্থ ও শক্তির সাধারণ গুণাগুণ সম্পর্কে আমাদের সঠিক জ্ঞান থাকা প্রয়োজন। এই জ্ঞান আহরণই পদার্থ বিজ্ঞানের মূল উদ্দেশ্য। সাধারণত ছয় রকম বিভিন্ন শক্তির পরিচয় আমরা পাই—যান্ত্রিক, তাপ, আলোক, শব্দ, বিদ্যুৎ ও চুম্বক শক্তি। পদার্থ এবং এই ছয় প্রকার বিভিন্ন শক্তির আলোচনার জন্য পদার্থ বিজ্ঞান মোট ছয় ভাগে বিভক্ত :

সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান, তাপ-তত্ত্ব, আলোক-তত্ত্ব, শব্দ-তত্ত্ব, বিদ্যুৎ-তত্ত্ব ও চুম্বক-তত্ত্ব।

1-2. মাপ ও মাপকাঠি—বিজ্ঞানের সাহায্যে যে জ্ঞান আহরণ করা হয় মূলত তাহা পরীক্ষার উপর নির্ভর করে। পদার্থ বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে এই পরীক্ষা কতকগুলি মাপজোখ ছাড়া আর কিছুই নয়। হয় কোন জিনিসের ওজন মাপিতে হইবে, না হয় কাহারও দৈর্ঘ্য বাহির করিতে হইবে, অথবা কোন বস্তু এক স্থান হইতে অন্য স্থানে যাইতে কত সময় লইয়াছে তাহা স্থির করিতে হইবে। কোন মাপজোখ করিতে হইলে প্রথমেই প্রয়োজন একটি এককের বা মাপকাঠির। মাত্র একগাছি লম্বা সুতা দিয়া যদি বলা হয় উহার দৈর্ঘ্য বাহির করিতে হইবে, তাহা হইলে উহা অর্থহীন হইয়া পড়ে। সুতার সহিত দৈর্ঘ্য মাপিবার একটি উপযুক্ত মাপকাঠি প্রয়োজন। একটি ফুটরুল দিলে উহা সুতার উপরে ফেলিয়া বলা যায় যে সুতাগাছি ফুটরুল অপেক্ষা সাতগুণ কি আটগুণ বড়, অর্থাৎ উহার দৈর্ঘ্য সাত ফুট কি আট ফুট। ফুটকে এখানে দৈর্ঘ্যের একক ধরিয়া আমরা সুতার দৈর্ঘ্য মাপিলাম। কোন না কোন এককের সাহায্য ছাড়া সব রকম মাপজোখই অচল। তাই পদার্থ বিজ্ঞান আলোচনার আগে বিভিন্ন মাপজোখের একক সম্বন্ধে কিছু আলোচনা প্রয়োজন।

আমরা ক্রমে ক্রমে দেখিব যে নানারকম মাপের জন্য নানাপ্রকার এককের প্রয়োজন। দৈর্ঘ্য, আয়তন, ক্ষেত্রফল, ওজন, সময়, কোণ, বল, চাপ, শক্তি, তাপ, উষ্ণতা প্রভৃতি বিভিন্ন পরিমাপের জন্য প্রত্যেকেরই এক একটি বিভিন্ন **Unit (একক)**-এর প্রয়োজন। কিন্তু ইহাদের মধ্যে বহু একক পরস্পর নির্ভরশীল এবং একের সাহায্যে অন্যের একক স্থির করা সম্ভব। একটি উদাহরণ দিই। ক্ষেত্রফল মাপিতে দৈর্ঘ্যকে প্রস্থ দিয়া গুণ করিতে হয়। দৈর্ঘ্যের একক যদি একফুট ধরি, তবে একফুট দৈর্ঘ্য ও একফুট প্রস্থ বর্গক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল হইবে একফুট × একফুট = এক বর্গফুট। এই বর্গফুটই আমাদের ক্ষেত্রফল মাপিবার একক হইতে পারে। সুতরাং দেখা যাইতেছে দৈর্ঘ্যের একক স্থিরীকৃত হইলে ক্ষেত্রফলের এককও ঠিক হইয়া যায়, তাহার জন্য নূতন কোনও এককের প্রয়োজন হয় না।

মৌলিক ও যৌগিক একক : দেখা গিয়াছে যে **অধিকাংশ মাপজোখের এককই মাত্র তিনটি পরস্পর-নিরপেক্ষ একক হইতে পাওয়া যাইতে পারে। এই তিনটি একক হইল Length (দৈর্ঘ্য),**

Mass (**ভর***) ও **Time** (**সময়**)-**এর একক**। ইহাদিগকে আমরা **Fundamental Units** (**মৌলিক একক**) বলিব। এই তিনটিকে ভিত্তি করিয়া যে সকল একক গঠন করা যায়, তাহাদের বলা হয় **Derived Units** (**যৌগিক একক**)।

1-3. বিভিন্ন পদ্ধতির মাপকাঠি (Systems of Units)—সমস্ত রকম মাপজোখের জন্য সাধারণত দুইটি পদ্ধতি প্রচলিত আছে।

(1) **সেন্টিমিটার-গ্র্যাম-সেকেণ্ড পদ্ধতি** (**C. G. S. System**) : সেন্টিমিটার (Centimetre), গ্র্যাম (Gram) ও সেকেণ্ড (Second) এই পদ্ধতির তিনটি মূল অর্থাৎ যথাক্রমে দৈর্ঘ্য, ভর ও সময় মাপিবার একক। সমস্ত বৈজ্ঞানিক পরীক্ষায় এই একক ব্যবহার করা যায়। সংক্ষেপে এই পদ্ধতিকে সি-জি-এস্ বা মিটরীয় (Metric) পদ্ধতি বলে। এই পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্য ও ভরের এককগুলির পরস্পরের অনুপাত দশ দ্বারা বিভাজ্য বলিয়া ইহাকে দশমিক পদ্ধতিও বলা হয়। এই কারণে ইহার সাহায্যে গণনা বা হিসাবের সুবিধা হয়।

(2) **ফুট-পাউণ্ড-সেকেণ্ড পদ্ধতি** (**F. P. S. System**) : ফুট (**Foot**), পাউণ্ড (Pound), ও সেকেণ্ড (Second) ইহার তিনটি মূল একক। এই পদ্ধতি বিশেষ করিয়া ব্রিটিশ কমনওয়েলথের রাজ্যগুলিতে প্রচলিত। সংক্ষেপে এই পদ্ধতিকে এফ্-পি-এস্ বা ব্রিটিশ পদ্ধতি বলা হয়। আমরা সম্প্রতি মিটরীয় পদ্ধতি গ্রহণ করিয়াছি।

সি-জি-এস্ একক—সেন্টিমিটার : প্যারিসে রক্ষিত একটি প্ল্যাটিনাম-ইরিডিয়াম দণ্ডের উপর দুইটি নির্দিষ্ট দাগের মধ্যে শূন্য ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে যে দূরত্ব তাহাই এক **মিটার** (**Metre**)। এই দণ্ডটিকে মূল আন্তর্জাতিক মিটার (International Prototype Metre) বলে। এক **সেন্টিমিটার** (সংক্ষেপে সে-মি) এক মিটারের একশত ভাগের এক ভাগ।

সেন্টিমিটারের ভগ্নাংশ ও গুণিতাংশ

10 Millimetres (mm)	=	1 Centimetre (cm)
10 Centimetres	=	1 Decimetre
10 Decimetres	=	1 Metre (m)
1000 Metres	=	1 Kilometre (km)

* প্রত্যেক বস্তু (body)-তেই কিছু পরিমাণ পদার্থ (matter) আছে। পদার্থের পরিমাণকে ভর বলে। ভর ও ওজনের প্রভেদ পরে বলা হইবে।

পৃথিবীর পরিধি চার কোটি মিটার : প্যারিসের মধ্য দিয়া কল্পিত এবং উত্তরমেরু হইতে নিরক্ষরেখা পর্যন্ত বিস্তৃত দ্রাঘিমারেখার যে দৈর্ঘ্য, প্রথমে এক মিটারকে তাহার কোটি ভাগের এক ভাগ বলিয়া ধরা হইয়াছিল। সেই অনুসারে একটি মাপকাঠি তৈয়ারি করা হয় এবং তাহাকেই মিটার বলা হয়। পূর্বোক্ত দ্রাঘিমারেখার দূরত্ব আরও সঠিকভাবে নির্ধারিত হইলে দেখা গেল যে উহার দৈর্ঘ্য এক কোটি মিটার অপেক্ষা কিছু বেশী (প্রায় 10 0002,100 মিটার)। এই হিসাবে আসল মিটার দণ্ড কল্পিত মিটার অপেক্ষা প্রায় 0 2 মিলিমিটার ছোট।

গ্র্যাম ও কিলোগ্র্যাম : সি-জি এস্ পদ্ধতিতে ভরের একক **গ্র্যাম** (**Gram**)। ইহা প্যারিসে রক্ষিত একটি নির্দিষ্ট প্ল্যাটিনাম-ইরিডিয়াম স্তম্ভকের ভরের এক হাজার ভাগের এক ভাগ। এই স্তম্ভকটিকে মূল আন্তর্জাতিক **কিলোগ্র্যাম** (**International Prototype Kilogram**) বলা হয়।

গ্র্যামের ভগ্নাংশ ও গুণিতাংশ

10 Milligrams (mgm)	=	1 Centigram
10 Centigrams	=	1 Decigram
10 Decigrams	=	1 Gram (gm)
1000 Grams	=	1 Kilogram (kgm)

হাজার ঘন সেন্টিমিটার জলের ওজন এক কিলোগ্র্যাম : প্রথমে ঠিক করা হইয়াছিল যে চার ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় 1000 ঘন সেন্টিমিটার জলের ভরকে এক কিলোগ্র্যাম ধরা হইবে এবং সেই অনুসারেই উপরোক্ত স্তম্ভকটি তৈয়ারি করা হয়। কিন্তু পরে আরও সঠিক পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে উক্ত স্তম্ভকের সমান ওজনের (অর্থাৎ এক কিলোগ্র্যাম) জলের আয়তন 1000 ঘন সেন্টিমিটার অপেক্ষা সামান্য বেশী (প্রায় 1000 028 ঘন সে-মি)। প্রচলিত গ্র্যাম এই হিসাবে কল্পিত গ্র্যাম অপেক্ষা ওজনে 028 মিলিগ্র্যাম বেশী।

লিটার (Litre) : চার ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতার এক কিলোগ্র্যাম জলের আয়তনকে এক **লিটার** বলে।

প্রথমে ঠিক হইয়াছিল এক লিটার 1000 ঘন সে-মির সমান হইবে। কিন্তু আমরা আগেই বলিয়াছি, এক কিলোগ্র্যাম জলের আয়তন 1000 028 ঘন সে-মি। অতএব প্রচলিত হিসাবে এক লিটার 1000 ঘন সে মি অপেক্ষা কিছু (অর্থাৎ 028 ঘন সে-মি) বেশী। সুতরাং এক **মিলিলিটার** (লিটারের সহস্রাংশ) এক ঘন সেন্টিমিটার অপেক্ষা সামান্য বেশী।

সেকেণ্ড সময়ের একক। উহা দিনের মান হইতে নির্দিষ্ট করা হয়। পর পর দুইবার মধ্যরেখা (**Meridian**) অতিক্রম করিতে সূর্যের যে সময় লাগে তাহাকে এক **সৌর দিন** (**Solar day**) বা সংক্ষেপে শুধু দিন বলা হয়। পৃথিবী সূর্যের চতুর্দিকে নিজ কক্ষে সমান বেগে চলে না বলিয়া সৌর দিনের মান বৎসরের বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন হয়। বৎসরের 365 দিনের মানের গড়কে **গড় সৌর দিন** (**Mean Solar Day**) বলে। ইহার 86400 ভাগের এক ভাগ সময়কে **গড় সৌর সেকেণ্ড** বা সংক্ষেপে **সেকেণ্ড** বলে।

সি-জি-এস্ পদ্ধতিতে ক্ষেত্রফলের একক এক বর্গ সেন্টিমিটার (1 **sq. cm** বা $1 cm^2$) ও আয়তনের একক এক ঘন সেন্টিমিটার (1 **cubic centimetre,** সংক্ষেপে 1 c. c. বা $1 cm^3$)।

এফ্-পি-এস্ একক—এফ্-পি-এস্ পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক **ফুট**। লণ্ডনে রক্ষিত বিশেষ একটি ব্রোঞ্জদণ্ডের উপর দুইটি নির্দিষ্ট দাগের মধ্যে 62 ডিগ্রী ফারেনহাইট উষ্ণতায় যে দূরত্ব, ফুট তাহার এক-তৃতীয়াংশ। ভরের একক **পাউণ্ড**, উক্ত স্থানে রক্ষিত একটি নির্দিষ্ট প্ল্যাটিনাম স্তম্ভকের ওজন। সময়ের একক **সেকেণ্ড** সি-জি-এস্ পদ্ধতির সেকেণ্ডের সহিত অভিন্ন।

এফ্-পি-এস্ পদ্ধতিতে ক্ষেত্রফলের একক এক বর্গ ফুট (1 sq. ft. বা $1 ft^2$) ও আয়তনের একক এক ঘন ফুট (1 cu. ft বা $1 ft^3$)।

দুইটি পদ্ধতির পারস্পরিক সম্পর্ক

1 pound (lb) = 453·6 grams	1 kilogram = 2·2046 pounds
1 inch (in) = 2·54 centimetres	1 metre = 39·37 inches
1 foot (ft) = 30·48 centimetres	1 centimetre = ·3937 inch

এই তালিকাটি এক পদ্ধতির পরিমাপকে অন্য পদ্ধতিতে পরিবর্তিত করিতে প্রয়োজন হইয়া থাকে। সুতরাং ইহা মনে রাখা দরকার।

উদাহরণ ঃ [1] এক কিলোমিটারে কত মাইল ?

1 কিলোমিটার = 1000 মিটার, 1 মিটার = 39·37 ইঞ্চি
36 ইঞ্চি = 1 গজ, 1760 গজ = 1 মাইল

∴ কিলোমিটার = $\frac{1000 \times 39 \cdot 37}{36 \times 1760}$ মাইল = 0·6214 মাইল।

মোটামুটি হিসাবে 8 কিলোমিটারে প্রায় 5 মাইল।

[2] এক গ্যালনে কত ঘন সেন্টিমিটার ও কত লিটার ?

1 গ্যালন = 277 ঘন ইঞ্চি

1 ঘন ইঞ্চি = 2·54 × 2·54 × 2·54 ঘন সে-মি

= 16·39 ঘন সে-মি

∴ 1 গ্যালন = 277 × 16·39 = 4546 ঘন সে-মি = 4·546 লিটার।

[3] এক টনে কত কিলোগ্রাম ?

1 টন = 2240 পাউণ্ড

1 পাউণ্ড = 453 6 গ্রাম

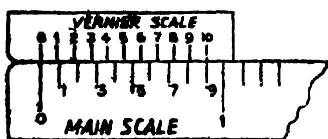
1000 গ্রাম = 1 কিলোগ্রাম

$\therefore$ 1 টন = $\frac{2240 \times 453 6}{1000}$ = 1016 কিলোগ্রাম।

মাপের যন্ত্রাদি

1-4. দৈর্ঘ্য মাপিবার যন্ত্র—সাধারণভাবে দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য মাপনী বা স্কেল ব্যবহৃত হয়। এক মিটার দীর্ঘ মাপনীতে এক মিটারকে একশত সমান ভাগ করিয়া সেন্টিমিটারে চিহ্নিত কবা হয় এবং সেন্টিমিটারকে আবাব দশ ভাগ করিষা মিলিমিটারে দাগ কাটা হইযা থাকে। এইরূপ মাপনীর সাহায্যে কোন দৈর্ঘ্য মাপিতে হইলে আমরা মিলিমিটার অপেক্ষা সূক্ষ্মতর মাপ নির্ভুলভাবে নির্দেশ করিতে পারি না। চোখের আন্দাজে দুই দাগের মধ্যবর্তী ফাঁককে আনুমানিক অর্ধাংশে ভাগ করিয়া মোটামুটিভাবে 0·5 মিলিমিটার পর্যন্ত দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায। প্রচলিত ফুট-স্কেলে ইঞ্চিব কুড়ি বা বত্রিশ ভাগ নির্দেশ করা এইরূপে সম্ভব হইতে পারে। কিন্তু বৈজ্ঞানিক কাজে আরও সূক্ষ্ম ও নির্ভুল মাপের প্রয়োজন হয়। এইরূপ সূক্ষ্ম কাজের জন্য বিশেষভাবে নির্মিত কয়েকটি যন্ত্রের বিবরণ ও ব্যবহার প্রণালী বর্ণনা করা যাইতেছে।

A. ভার্নিয়ার স্কেল (Vernier Scale) :—মূল স্কেলে ক্ষুদ্রতম যে ভাগ থাকে তাহারও ভগ্নাংশের নির্ভুল পরিমাপ করিবার জন্য মূল স্কেলের পাশে আরও একটি ছোট স্কেল থাকে—ইহার নাম ভার্নিয়ার স্কেল (চিত্র 1·1)। ইহাকে মূল স্কেলের পাশ দিয়া সম্মুখে বা পিছনে সবানো যায়। ইহার ভাগগুলির দৈর্ঘ্য মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগের চেয়ে সামান্য ছোট। ধরা যাক, মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগ এক মিলিমিটার। মনে কর, 1·1 চিত্রে প্রদর্শিত দাগগুলি এই দৈর্ঘ্য নির্দেশ করিতেছে। সংলগ্ন ভার্নিয়ার স্কেলে এইরূপ 9 মিলিমিটার



চিত্র 1·1

(অর্থাৎ 0·9 সে-মি) পরিমিত দৈর্ঘ্যকে দশটি সমান ভাগ করিয়া দাগ কাটা হইয়াছে। তাহা হইলে দেখিতেছ মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগগুলি অপেক্ষা ভার্নিয়ার স্কেলের ভাগগুলি সামান্য ছোট। ইহাদের পরস্পরের সম্বন্ধ এই ভাবে নির্ণয় করা যাইতে পারে।

ভার্নিয়ার স্কেলের 10 ভাগ = মূল স্কেলের 9 ভাগ

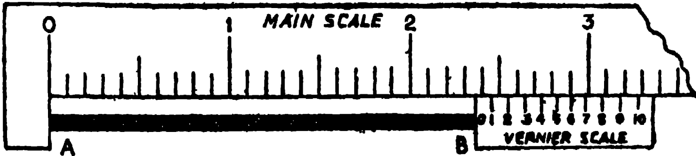
" " 1 ভাগ = " $\frac{9}{10}$ ভাগ

$= \frac{9}{10} \times \cdot 1 = \cdot 09$ সে-মি

মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগ – ভার্নিয়ার স্কেলের ভাগ

$= 1 - \cdot 09 = \cdot 01$ সে-মি

এই অন্তর-ফলকে বলা হয় **Vernier Constant** (**ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক**)। ইহা হইতে জানা যায় যে মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগ অপেক্ষা ভার্নিয়ারের এক একটি ভাগ কতটুকু ছোট। আলোচ্য ক্ষেত্রে ইহা ·01 সে-মি মাত্র। ভার্নিয়ার স্কেল ব্যবহার করিতে হইলে এই স্থিরাঙ্ক অবশ্য নির্ণয় করিয়া লইতে হইবে। মনে রাখিও ইহা মূল স্কেলের ও ভার্নিয়ার স্কেলের দাগ কাটিবার বৈশিষ্ট্য অনুযায়ী পরিবর্তিত হইয়া থাকে।



চিত্র 1·2

1·2 চিত্রে এইরূপ একটি ভার্নিয়ার সম্বলিত মাপনীর মূল স্কেলের পাশে একটি দণ্ড রাখা হইয়াছে। দণ্ডের A-চিহ্নিত প্রান্ত স্কেলের 0-দাগে বসানো আছে। লক্ষ্য করিয়া দেখ উহার অপর প্রান্ত (B-চিহ্নিত) মূল স্কেলের 2·3 সে-মি দাগ অতিক্রম করিয়া গিয়াছে। মূল স্কেল দেখিয়া এই দণ্ডের দৈর্ঘ্য সম্বন্ধে বলা যাইবে যে উহার দৈর্ঘ্য 2·3 এবং 2·4 সে-মি-এর মাঝামাঝি। ইহার দৈর্ঘ্য বিষয়ে মূল স্কেলে কোন নির্দিষ্ট পাঠ পাওয়া যাইতেছে না। চোখে দেখিয়া অনুমানে বলা যাইবে যে উহা 2·35 সে-মি-এর চেয়েও কিছু বেশী। ভার্নিয়ার-স্কেল ব্যবহার করিয়া ইহার দৈর্ঘ্য আরও সূক্ষ্ম-ভাবে বলা যাইবে। ভার্নিয়ার স্কেলের 0-দাগ দণ্ডের B-প্রান্তে আনিয়া

ঠেকাইয়া দাও। তারপর ভার্নিয়ার স্কেলের দাগগুলি পর পর লক্ষ্য করিয়া দেখ ইহার কোন না কোন দাগ মূল স্কেলের কোনও একটি দাগের সঙ্গে মিলিবে। চিত্রে দেখ ষষ্ঠ দাগে এইরূপ মিলন ঘটিয়াছে। এইভাবে প্রাপ্ত সংখ্যাকে (অর্থাৎ এক্ষেত্রে 6-কে) ভার্নিয়ারের স্থিরাঙ্ক দ্বারা গুণ করিতে হইবে। এই গুণ-ফল $6 \times \cdot01 = \cdot06$ সে-মি হইবে। তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে ভার্নিয়ারের 0-দাগ 2·3 সে-মি নির্দেশক দাগ হইতে ·06 সে-মি দূরে রহিয়াছে। অতএব ভার্নিয়ারের 0-দাগ যেখানে অবস্থিত উহা মূল স্কেলে $2{\cdot}3 + \cdot06 = 2{\cdot}36$ সে-মি দৈর্ঘ্য নির্দেশ করিতেছে—অর্থাৎ দণ্ডটির দৈর্ঘ্য 2·36 সে-মি।

উদাহরণ ঃ (1) একটি স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগ এক সেণ্টিমিটারের $\frac{1}{25}$ অংশ এবং ভার্নিয়ারের 20-ভাগ মূল স্কেলের 19 ভাগের সমান। ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক কত ?

মূল স্কেলের 1 ভাগ $= \frac{1}{25}$ সে-মি

ভার্নিয়ারের 20 ভাগ = মূল স্কেলের 19 ভাগ

" 1 ভাগ = " $\frac{19}{20}$ ভাগ

সুতরাং মূল স্কেলের 1 ভাগ − ভার্নিয়ারের 1 ভাগ

$= (1 - \frac{19}{20}) = \frac{1}{20}$ স্কেল-ভাগ

$= \frac{1}{20} \times \frac{1}{25}$ সে-মি

$= \cdot002$ সে-মি।

$\therefore$ ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক $= \cdot002$ সে-মি।

(2) ব্যারোমিটার যন্ত্রের সঙ্গে সংলগ্ন স্কেলে ইঞ্চিকে 20 ভাগ করিয়া ক্ষুদ্রতম বিভাগ করা আছে। ভার্নিয়ারের 25 ভাগ মূল স্কেলের 24 ভাগের সমান। পারদস্তম্ভের উচ্চতা মূল স্কেলে 30·6 ইঞ্চি এবং ভার্নিয়ারের 18 সংখ্যক দাগ মূল স্কেলের কোনও একটি দাগের সঙ্গে মিলিয়াছে। পারদস্তম্ভের উচ্চতা তিন দশমিক স্থান পর্যন্ত ইঞ্চিতে নির্ণয় কর।

মূল স্কেলের 1 ভাগ $= \frac{1}{20}$ ইঞ্চি

ভার্নিয়ারের 25 ভাগ = মূল স্কেলের 24 ভাগ

" 1 ভাগ = " $\frac{24}{25}$ ভাগ

ভার্নিয়ারের স্থিরাঙ্ক $= (1 - \frac{24}{25})$ স্কেল-ভাগ

$= \frac{1}{25} \times \frac{1}{20} = \cdot002$ ইঞ্চি

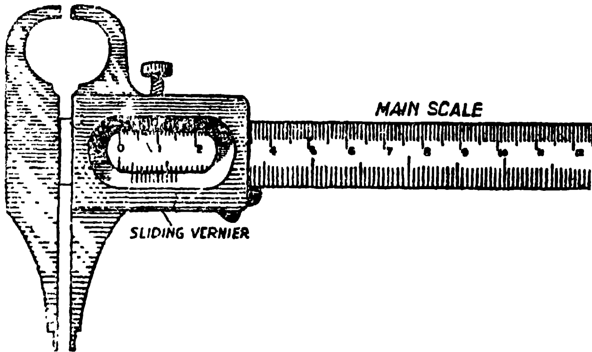
পারদস্তম্ভের উচ্চতা $= 30{\cdot}6 + (18 \times \cdot002)$ ইঞ্চি

$= 30{\cdot}636$ ইঞ্চি।

B. ভার্নিয়ার ক্যালিপার্স (Vernier Callipers) ঃ এই যন্ত্রে (1·3 চিত্র) ভার্নিয়ারের পদ্ধতি প্রয়োগ করা হইয়াছে। ইহাকে স্লাইড

ক্যালিপার্সও (Slide Callipers) বলা হয়। ইহার এক পাশে, যে দিকে, স্কেল আরম্ভ হইয়াছে সে দিকে, স্কেলের সঙ্গে লম্বভাবে আটকানো একটা দাড়া (Jaw) আছে। ভার্নিয়ারের সঙ্গেও অনুরূপ একটি দাড়া আছে; এটি সরান যায়। দুইটি দাড়া একসঙ্গে ঠেকিয়া থাকিলে ভার্নিয়ার স্কেলের 0-দাগ মূল স্কেলের 0-দাগের সঙ্গে মিশিয়া যায়। উহারা বিচ্ছিন্ন অবস্থানে থাকিলে উহাদের মধ্যবর্তী দূরত্বটুকু কত তাহা স্কেলের পাঠ হইতে জানা যাইবে।

চিত্রে প্রদর্শিত যন্ত্রে উপরকার মূল স্কেলটি মিলিমিটারে ভাগ করা আছে। ভার্নিয়ার স্কেলের 10 ভাগ মূল স্কেলের 9 ভাগের সমান। সুতরাং এক্ষেত্রে পূর্বোক্ত নিয়মানুযায়ী Vernier Constant ·01 সে-মি হইবে। যে বস্তুটির



চিত্র 1·3

দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে উহা দুই দাড়ার মাঝখানে এমনভাবে রাখা হয় যাহাতে দুই পাশ হইতে দুই দাড়া উহার গায়ে ঠেকিয়া থাকে। এই অবস্থায় স্কেলে দুই দাড়ার মাঝের ফাঁকটুকু কত তাহা দেখিয়া লইলেই বস্তুটির দৈর্ঘ্য জানা যাইবে। এজন্য প্রথমে দেখিতে হইবে ভার্নিয়ার স্কেলের 0-দাগ মূল স্কেলের কোন্ দাগ অতিক্রম করিয়া আসিয়াছে। তারপর লক্ষ্য করিতে হইবে ভার্নিয়ারের কত সংখ্যক দাগ মূল স্কেলের দাগের সঙ্গে মিলিয়া গিয়াছে। এই সংখ্যাকে Vernier Constant দ্বারা গুণ করিলে ভার্নিয়ার পাঠের দৈর্ঘ্য পাওয়া যাইবে।

মূল স্কেলের পাঠের সঙ্গে ইহাকে যোগ করিয়া লইলে বস্তুটির দৈর্ঘ্য সেন্টিমিটারে দুই দশমিক স্থান পর্যন্ত নির্ভুলভাবে পাওয়া যাইবে।

কীলক দুইটি জিনিসটির গায়ে আসিয়া ঠেকে। এরূপ অবস্থায় প্রয়োজনের অতিরিক্ত চাপ দিও না। এই অবস্থায় বেষ্টনীর পরিধি-রেখা নলের রৈখিক স্কেলের কোন্ দাগের পিছনে আছে, দেখ। চিত্রে উহা 2। ইহা রৈখিক স্কেলের পাঠ—অর্থাৎ পূর্ণসংখ্যক মিলিমিটারে জিনিসটির দৈর্ঘ্য-মান। মিলিমিটারের ভগ্নাংশে জিনিসটির বাকী দৈর্ঘ্যটুকু নির্ণয় করিবার জন্য দেখিতে হইবে চক্রাকার স্কেলের কত সংখ্যক দাগ (চিত্রে উহা 42) যন্ত্রের নির্দেশক রেখার সঙ্গে মিলিযাছে। এই সংখ্যাকে যন্ত্রের Least Count (এক্ষেত্রে ·01 মি-মি) দ্বারা গুণ করিয়া ($42 \times \cdot01 = \cdot42$ মি-মি) উহাকে পূর্বে প্রাপ্ত রৈখিক স্কেলের পাঠের সঙ্গে যোগ করিলে ($2 + \cdot42 = 2\cdot42$ মি-মি) জিনিসটির দৈর্ঘ্য পাওয়া যাইবে এবং উহার মান মিলিমিটারের শতাংশ পর্যন্ত নির্ভুল হইয়াছে বলা যাইবে।

যন্ত্র ক্রমাগত ব্যবহার করিবার ফলে উহাতে কিছু ত্রুটি আসিয়া যাইতে পারে। বাহুসংলগ্ন কীলক দুইটির ভিতর যখন কোন ফাঁক থাকে না, তখন চক্রাকার স্কেলের 0-দাগ নির্দেশক রেখার সঙ্গে মিলিযা যাওয়ার কথা; কিন্তু অনেক যন্ত্রে দেখা যাইবে যে উহা হয়ত নির্দেশক-রেখা পার হইয়া কয়েক দাগ চলিয়া গিয়াছে। যদি এইরূপ হয় তবে নির্দেশক-রেখার সঙ্গে চক্রাকার স্কেলের কত সংখ্যক দাগ মিলিয়াছে তাহা দেখিয়া লও। মনে কর উহা 95। তাহা হইলে আমরা বলিব যন্ত্রের প্রাথমিক পাঠ $95 - 100 = -5$. উহাকে লঘিষ্ঠ মান দ্বারা গুণ করিলে পাওয়া যাইবে $(-5 \times \cdot01) = -\cdot05$ মি-মি। এক্ষেত্রে যন্ত্রের ভুলকে বলা হইবে নিগেটিভ। যন্ত্রে নির্ণীত পাঠ হইতে সর্বদাই ভুলের রাশি **বিয়োগ** করিতে হইবে, তাহা হইলে প্রকৃত দৈর্ঘ্য পাওয়া যাইবে। নিগেটিভ রাশি বিয়োগ করা অর্থ যোগ করা। সুতরাং মনে রাখিবে 0-দাগ নির্দেশক-রেখা পার হইয়া গেলে প্রকৃত দৈর্ঘ্য যন্ত্রে নির্দেশিত দৈর্ঘ্য হইতে বেশী হইবে।

পক্ষান্তরে যদি 0-দাগ নির্দেশক রেখায় পৌঁছিবার আগেই কীলক দুইটি পরস্পরের গায়ে ঠেকিয়া যায় তবে যন্ত্রের ভুলকে বলা হইবে পজিটিভ। ধর এইরূপ অবস্থানে 4-সংখ্যক দাগ নির্দেশক-রেখার সঙ্গে মিশিয়াছে; তাহা হইলে যন্ত্রের ভুলের পরিমাণ হইবে $4 \times \cdot01 = +\cdot04$ মি-মি। যন্ত্রে নির্দেশিত দৈর্ঘ্য হইতে এই ভুলের রাশি বিয়োগ করিলে প্রকৃত দৈর্ঘ্য পাওয়া যাইবে। যন্ত্র

ব্যবহার করিবার পুর্বে এইরূপ কোন ত্রুটি আছে কিনা তাহা দেখিয়া লইতে হইবে।

উদাহরণ ঃ—(1) নিম্নে প্রদত্ত উপাত্ত হইতে দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

স্ক্রুর পীচ ... 1 মি-মি

চক্রাকার স্কেলের ভাগ-সংখ্যা = 100

প্রাথমিক পাঠ—রৈখিক স্কেলে .. 0

চক্রাকার স্কেলে...5

পরবর্তী পাঠ—রৈখিক স্কেলে ...3

চক্রাকার স্কেলে...65

উত্তর ঃ—Least Count $= \frac{1}{100} = \cdot01$ মি-মি

যন্ত্রের ভুল $= +5 \times 0\ 1 = \cdot05$ মি-মি

নির্ণীত দৈর্ঘ্য $= 3 + (65 \times\ 01) = 3\ 65$ মি-মি

প্রকৃত দৈর্ঘ্য $= 3\ 65 - \cdot05 = 3\ 60$ মি-মি।

(2) নিম্নে প্রদত্ত উপাত্ত হইতে স্ক্রু গেজের Least Count নির্ণয় কর।

স্ক্রুর পীচ $= \cdot5$ মি-মি

রৈখিক স্কেলের ভাগ $= \cdot5$ মি-মি

চক্রাকার স্কেলের ভাগ-সংখ্যা $= 50$

উত্তর ঃ—Least Count $= \frac{\cdot5}{50} = \cdot01$ মি-মি।

(3) উপরে বর্ণিত যন্ত্রে কোন তারের ব্যাস মাপিতে নিম্নলিখিত উপাত্তগুলি পাওয়া গেল। তারের ব্যাস ও প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল নির্ণয় কর।

যন্ত্রের পাঠ	রৈখিক স্কেল	চক্রাকার স্কেল
প্রাথমিক	0	96
পরবর্তী	2·5	23

উত্তর ঃ—এক্ষেত্রে যান্ত্রিক ভুলের নির্দেশক সংখ্যা $(96 - 100) = -4$,

ভুলের পরিমাণ $-4 \times \cdot01 = -\cdot04$ মি-মি

নির্ণীত দৈর্ঘ্য $= 2\cdot5 + 23 \times \cdot01$

$= 2\cdot73$ মি-মি

সংশোধিত দৈর্ঘ্য $= 2\cdot73 - (-\cdot04)$

$= 2\ 73 + \cdot04$

$\therefore$ তারের ব্যাস $d = 2\cdot77$ মি-মি

$= 0\cdot277$ সে-মি

তারের প্রস্থচ্ছেদ $= \frac{\pi d^2}{4}$

$= \frac{3\cdot14 \times (\cdot277)^2}{4}$

$= \cdot0602$ বর্গ সে-মি।

1-5. আয়তন নির্ণয়ঃ সুষম জ্যামিতিক আকারের বস্তুর আয়তন উহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ, বেধ, ব্যাস প্রভৃতি মাপিয়া পাওয়া যায়।

আয়তাকার (Rectangular) বস্তুর আয়তন

= দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × বেধ (thickness)।

Cylinder-এর আয়তন = $\frac{1}{4} \times \pi \times$ দৈর্ঘ্য × (ব্যাস)^2।

Sphereএর আয়তন = $\frac{1}{6} \times \pi \times$ (ব্যাস)^3।

($\pi = 3\cdot14$ লওয়া যাইতে পারে; ইহা যে কোন বৃত্তের পরিধির সহিত ব্যাসের অনুপাত।)

তরল পদার্থের আয়তন Measuring Cylinder-এর সাহায্যে বাহির করা যায়। ইহাতে সাধারণত ঘন সেন্টিমিটারে দাগ কাটা থাকে।

বস্তু আকারে সুষম না হইলেও মেজারিং সিলিণ্ডারের সাহায্যে উহার আয়তন বাহির করা যায়। সিলিণ্ডারে খানিকটা জল ঢালিয়া জলের আয়তনের পাঠ দেখ। এবার বস্তুটি ঐ জলে ডুবাইয়া আয়তনের পাঠ আবার দেখ। দুই পাঠের বিয়োগফল বস্তুর আয়তন।

একটি পাত্র সম্পূর্ণভাবে জলে ভরিয়া উহাতে কোন বস্তু ডুবাইলে জল উপচাইয়া পড়িবে। উপচানো জলের আয়তন মেজারিং সিলিণ্ডারের সাহায্যে মাপা যায়। ইহাই বস্তুর আয়তন। বস্তুটি জলে দ্রবণীয় হইলে সিলিণ্ডারে জলের পরিবর্তে তেল লইতে পার।

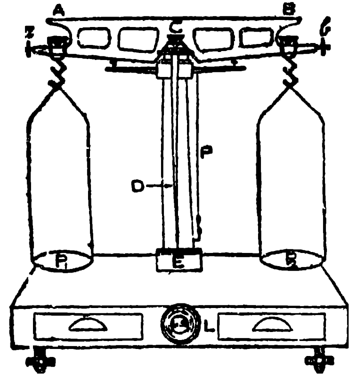
1-6. ভর (Mass) ও ভার (Weight)—বস্তুর Mass বলিতে উহাতে কতটা পদার্থ (Matter) আছে তাহার পরিমাণ বুঝায়। বস্তুটিকে পৃথিবী যে বলে আকর্ষণ করে তাহাকে উহার Weight বলে। একই বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ সর্বত্র সমান নহে; স্থানভেদে উহার সামান্য তারতম্য হয়। এই কারণে একই বস্তুর Mass সর্বত্র সমান হইলেও উহার Weight সর্বত্র সমান না হইতেও পারে।

ভর ও ভার মাপিবার দুইটি যন্ত্র নীচে বর্ণনা করা হইল

A. Common Balance (সাধারণ তুলা) mass মাপিবার জন্য ব্যবহৃত হয়। ইহাতে প্রকৃত পক্ষে দুইটি বস্তুর mass-এর সমতা পরীক্ষা করা হয়। সাধারণ ব্যালান্সের প্রধান অংশগুলির বর্ণনা নীচে দেওয়া হইল

(1) **তুলাদণ্ড (Balance Beam)**—ইহা একটি লম্বা দণ্ড (1·5 চিত্রের *AB*)। ইহার ঠিক মাঝখানে ইস্পাত বা আগেট (agate)-এর একটি ত্রিশির টুকরা *C* সংযুক্ত থাকে। দণ্ডটি *C*-এর একটি ধারের উপর দোল খাইতে পারে। *C*-এর এই ধারকে **আলম্ব (Fulcrum)** এবং *CA* ও *CB* অংশকে তুলার **বাহু (Arm)** বলে।

(2) **তুলাপাত্র (Scale pans)**—P_1 ও P_2 পাত্র দুইটি *AB*-র দুই পাশে আবদ্ধ। উহার একটিতে পরিমেয় বস্তু এবং অন্যটিতে প্রমাণ ভর-সমূহ (Standard Weights) অর্থাৎ জানা ভরের বস্তুখণ্ড দরকার মত রাখা হয়।



চিত্র 1·5

(3) **সূচক (Pointer)**—ইহা (চিত্রের *D*) *AB*র ঠিক মাঝখানে লম্বভাবে আবদ্ধ একটি সরু কাঁটা। *AB* দুলিতে থাকিলে সূচকটিও দোলে এবং উহার নিম্নাংশ একটি স্কেলের (চিত্রের *E*) গা ঘেঁসিয়া চলে। *AB* স্থির ও অনুভূমিক থাকিলে সূচকটি স্কেলের যে দাগের উপরে থাকে তাহাকে স্কেলের ‘শূন্য’ ধরা যায়।

(4) দুইটি স্ক্রু *a* ও *b* *AB*র দুই পাশে সংযুক্ত থাকে। তুলাপাত্র যখন খালি থাকে তখন তুলাদণ্ড অনুভূমিক হওয়া দরকার। তাহা না হইলে এই দুইটি স্ক্রুর সাহায্যে *AB*-কে অনুভূমিক করা হয়।

একটি লিভারের (চিত্রের *L*) সাহায্যে পাত্রসমেত তুলাদণ্ডটি উঠান বা নামান যায়। উঠান থাকিলে তুলাদণ্ড *C*-এর উপরে দোল খাইতে পারে। নামান থাকিলে পারে না। নামান অবস্থায় তুলাপাত্রে বস্তু বা প্রমাণ ভরগুলি

বসাইতে হয়। ওজন করিবার সময়ে যাহাতে বাতাসে না দোলে তাহার জন্য সমস্ত যন্ত্রটির উপর কাচের আবরণ থাকে।

ব্যালান্সের প্রয়োজনীয় গুণ (Requisites of a good balance) :

Mass সঠিক ভাবে নির্ধারণ করিতে হইলে ব্যালান্সের নিম্নলিখিত গুণগুলি থাকা প্রয়োজন—

(1) যন্ত্র **সঠিক (True)** হইবে, অর্থাৎ সমান Mass-এর বস্তু দুই দিককার পাত্রে রাখিলে দণ্ড অনুভূমিক (horizontal) থাকিবে। ব্যালান্স সঠিক করিতে হইলে,

(ক) উহার বাহু দুইটির দৈর্ঘ্য সমান লইতে হইবে ;

(খ) উহার পাত্র দুইটির ওজন সমান করিতে হইবে ;

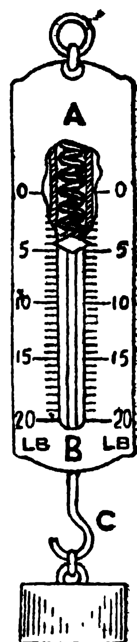
(গ) উহার দণ্ড যখন অনুভূমিক তখন সমস্ত তুলার ভারকেন্দ্র(C.G.) আলম্বের (Fulcrum) খাড়া নীচে থাকিবে।

(2) তুলা **সুবেদী (Sensitive)** হইবে, অর্থাৎ দুই পাশে Mass-এর সামান্য তফাৎ হইলেই যেন দণ্ড অনুভূমিক অবস্থা হইতে বিচ্যুত হয়। ইহার জন্য তুলাদণ্ড হাল্‌কা, বাহু দুইটি লম্বা, ও সমগ্র তুলার ভারকেন্দ্র আলম্বের খুব কাছে থাকা দরকার।

(3) তুলা **সুপ্রতিষ্ঠ (Stable)** হইবে, অর্থাৎ সাম্য অবস্থা হইতে বিচ্যুত করিয়া দিলে তুলাদণ্ড যেন তাড়াতাড়ি আবার সাম্যে ফিরিয়া আসে। ইহার জন্য তুলার ভারকেন্দ্র আলম্বের বেশী নীচে থাকা দরকার। অতএব তুলা সুপ্রতিষ্ঠ করিতে হইলে উহার সুবেদী অবস্থা খানিকটা ব্যাহত হয়।

B. Spring Balance (স্প্রিং তুলা) : বস্তুর ভর মাপিবার জন্য স্প্রিং তুলা ব্যবহার করা হয়। ইহাতে একটি ইস্পাতের স্প্রিংএর একপ্রান্ত উপরে একটি আংটার সহিত লাগান থাকে (1·6 চিত্র)। অন্য প্রান্ত একটি লম্বা দণ্ডের সহিত আটকান। দণ্ডের নীচের দিকে একটি বঁড়শির আকারের আংটা লাগান থাকে। যে বস্তুর ভর মাপিতে হইবে তাহা এই আংটা হইতে ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। দণ্ডের গায়ে একটি সরু কাঁটা সূচক (index) হিসাবে লাগান থাকে। উহা একটি স্কেলের গা ঘেঁসিয়া ওঠা নামা করে। দণ্ডের নীচের প্রান্তে টান পড়িলে স্প্রিং লম্বা হয় ও সূচক নামিয়া আসে। সূচক

যেটুকু সরে তাহাই স্প্রিংএর দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন। ভাল স্প্রিং হইলে নির্দিষ্ট টানের জন্য সব সময়ই স্প্রিংএর দৈর্ঘ্যের একই পরিবর্তন হয়, এবং টান ও দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন সমানুপাতিক থাকে।



চিত্র 1·6

প্রথমে নির্দিষ্ট ভর ঝুলাইয়া উহার জন্য সূচক কতটুকু সরে তাহা দেখা হইল। বিভিন্ন ভরে সূচক কতটুকু সরল তাহা দেখিয়া যন্ত্রের গায়ে স্কেল কাটা হইল। এইভাবে দাগ কাটিয়া লইবার পর কোন বস্তু তুলার আংটা হইতে ঝুলাইয়া দিলে ঐ বস্তুর mass সূচকের অবস্থান হইতে পাওয়া যাইবে।

তুলা সমেত বস্তুটি যদি পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে লইয়া গিয়া প্রত্যেক স্থানে উহার weight (ওজন) দেখা যায়, তবে ওজন একই পাওয়া যাইবে কি ? ওজন এক হইবে না, কারণ পৃথিবীর আকর্ষণ বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন। কাজেই একই massএর জন্য স্থানভেদে তুলার উপর forceএর প্রভেদ হইবে এবং সূচকও বিভিন্ন ওজন নির্দেশ করিবে। বিকল্পে, সূচকেব নির্দেশ হইতে বুঝা যাইবে যে একই বস্তুর weight বিভিন্ন স্থানে সমান নহে। মনে করা যাক কোন Spring Balanceএর স্কেল কলিকাতায় কাটা হইয়াছে। এই তুলায় মাপিয়া যে ভর কলিকাতায় এক পাউণ্ড হইবে, দেখা যাইবে তাহা লণ্ডনে এক পাউণ্ডের একটু বেশী, কারণ লণ্ডনে পৃথিবীর আকর্ষণ কলিকাতা অপেক্ষা বেশী এবং স্প্রিং তুলা mass মাপে না, weight মাপে। এই দুই স্থানে একই বস্তুর ওজনেব যে প্রভেদ হয় তাহার মান খুব কম ; এক মণ ভরে আধ ছটাক মাত্র।

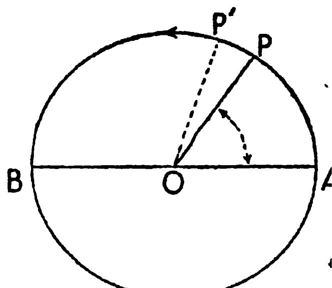
1-7. সময় নির্ণায়ক যন্ত্র

সাধারণ ঘড়ির সাহায্যে আমরা সময় নির্ণয় করিয়া থাকি। বৈজ্ঞানিক কাজে সূক্ষ্মভাবে সময় মাপার প্রয়োজন হইয়া থাকে। এ জন্য Stop clock ও Stop watch ব্যবহৃত হইয়া থাকে। এই জাতীয় ঘড়ি যখন ইচ্ছা চালাইয়া আবার প্রয়োজন মত বন্ধ করিয়া দেওয়া যায়। Stop watch-এর সাহায্যে এক সেকেণ্ডের এক-পঞ্চমাংশ কিংবা এক-দশমাংশ পর্যন্ত সময় নির্ণয় করা যায়।

1-8. কোণ মাপিবার পদ্ধতি

এক সমকোণের 90 ভাগের এক ভাগের নাম এক ডিগ্রী ; উহাই কে মাপিবার একক। বৈজ্ঞানিক কাজে কোণ অন্য এক পদ্ধতিতে মাপি৷ সুবিধা হয়। এই পদ্ধতির নাম circular measure।

ধর OA সরলরেখার উপর AOP, AOP' দুইটি কোণ। দুই কোণেরই শী বিন্দু O। উহাকে কেন্দ্র করিয়া যে কো ব্যাসার্ধ OA লইয়া একটি বৃত্ত আঁ এবং মনে কর এই বৃত্তরেখা কোণদ্বয়ে বাহু দুইটিকে P ও P' বিন্দুে ছেদ করিল। 1·7 চিত্রে APP'. এই বৃত্ত।



চি :

A হইতে বৃত্তের পরিধি ধরি৷ P পর্যন্ত গেলে দূরত্ব হইবে A চাপের দৈর্ঘ্য, P' বিন্দুতে গেলে দূর৲ হইবে AP' চাপের দৈর্ঘ্য। AOP কোণ OA এবং OP রেখার কৌণিক ব্যবধান সূচিত করে। AP-চাপের দৈর্ঘ্য OA ব্যাসার্ধের সমান হইলে এই কৌণিক ব্যবধানকে বলা হইবে এক রেডিয়ান (radian)।

AOP'কোণের মান হইবে $\frac{\text{চাপ } AP'}{\text{ব্যাসার্ধ } OA}$ রেডিয়ান।

A হইতে যাত্রা করিয়া বৃত্তপথে আবার A বিন্দুতে ফিরিয়া আসিলে চারি সমকোণ (360°) ঘুরিয়া আসা হয়। রেডিয়ান-মাপে এই কোণের মান হইবে $\frac{\text{বৃত্তের পরিধি}}{\text{বৃত্তের ব্যাসার্ধ}}$।

যে কোন বৃত্তের পরিধি ও ব্যাসার্ধের অনুপাত একটি স্থির সংখ্যা৷ 2π দ্বারা বুঝান হয় এবং $\pi = 3{\cdot}1416\cdots$

সুতরাং $360° = 2\pi$ রেডিয়ান এবং অনুরূপ কারণে $180° = \pi$ রেডিয়ান ও $90° = \frac{\pi}{2}$ রেডিয়ান

সাধারণভাবে এই পদ্ধতিতে কোণ মাপিতে হইলে উল্লিখিত বৃত্তের যে

চাপটুকু কোণের অন্তর্ভুক্ত হইয়াছে তাহাকে ঐ বৃত্তের ব্যাসার্ধ দ্বারা ভাগ করিতে হইবে এবং ঐ ভাগফলই রেডিয়ান-মাপে কোণের মান বুঝাইবে।

$$\text{কোণের মান} = \frac{\text{চাপ (arc)}}{\text{ব্যাসার্ধ (radius)}} \text{ রেডিয়ান}$$

অনেক সময় π-এর ভগ্নাংশ বা গুণিতক দ্বারাই রেডিয়ান পদ্ধতিতে কোণের মান প্রকাশ করা হইয়া থাকে।

Exercises

1. (a) Mount Everest is 29141 ft. in height. Express it in metres. [Ans : 8882·2 metres.]

(b) Eiffel Tower in France is 335 m. high. Express it in feet. [Ans : 1099 ft.]

2. A 100 yard track has to be extended to 100 metres. Calculate in feet and inches the elongation necessary. [Ans : 28 ft. 1 in.]

3. Express a seer in kilograms, given 1 maund = 40 seers = 82·2 lbs. [Ans : 0·932 kg.]

4. Express one tola in grams, given 1 seer = 80 tolas. [Ans : 11·65 gm.]

5. Find the mass of one gallon of water in seers, given 1 gallon = 277 cu. inches, and the mass of 1 cu. ft. of water = 62·4 lb. Find the value in kilograms also. [Ans : 4·87 seers, 4·52 kg.]

6. The density of sulphuric acid is 1·8 gm/cm^3. How much acid is contained in a bottle of volume 2 litres ? [Ans : 3·6 kg.]

7. Find the mass of a slab of iron 3 metres long, 1 metre broad and 2 cm thick. Density of iron = 7·5 gm/cm^3. [Ans : 450 kg.]

8. A lead ball weighs 50 kg. If the density of lead is 11·4 gm/cm^3, what is the volume ? [Ans : 4386 c.c]

9. A block of wood is 16 in × 8 in × 2 in and weighs 6 lb. Find its density in pounds per cubic foot. [Ans : 40·5 lb per cu. ft]

10. A railroad track curves through an angle of 10° in forming an arc 150 ft long. What is the radius of curvature ? [Ans : 859·3 ft.]

11. The angle subtended by the moon's diameter at a place on the earth in 31′5″. If the moon is 235000 miles away, find its diameter in miles. [Ans : 2120 miles.]

12. Astronomical distances are measured in light years and in parsecs. Express the parsec in light years, given that a light year is the distance light travels in one year at the rate of 186000 miles per second; and a parsec is the distance at which the radius of the earth's orbit round the sun ($=9{\cdot}3\times10^7$ miles) subtends an angle of one second of arc.

[Hint : Express 1 second of arc in radian. This value equals the ratio of the radius of the earth's orbit to the parsec. Ans : 1 light year = $5{\cdot}865\times10^{12}$ miles. 1 parsec = $19{\cdot}19\times10^{12}$ miles = 3·27 light years.]

13. A screw gauge reads to 0·01 mm. When its jaws are in contact the reading is 0·04 mm. The diameter of a steel ball, measured at three places at right angles, was found to be 25·35, 25·32 and 25·34 on the instrument. Calculate the mean diameter and volume of the ball. [Ans : 25·30 mm ; 8·47 c.c.]

14. A screw gauge has a screw fifty threads to the inch. The linear scale is divided into fiftieths of an inch. If the gauge is to read one thousandth of an inch, how many divisions should there be on the circular scale ? What will be the readings on the linear and circular scales if the length concerned is 0·235 inch ? [Ans : 11 and 15.]

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

গতি ও বল

2-1. গতি (Motion) ও বল (Force) সংক্রান্ত আলোচনা বলবিদ্যার (Mechanics) অন্তর্গত। সাধারণ বলবিদ্যা দুইভাগে বিভক্ত—

(ক) বলের প্রভাবে পদার্থের গতি প্রভৃতির আলোচনা।

(খ) পদার্থের বিভিন্ন ধর্মের আলোচনা।

বলবিদ্যার আলোচনায় আমরা 'বস্তু' ও 'কণা' এই দুইটি কথা ব্যবহার করিব। **বস্তু** (Body) বলিতে ওজন ও আয়তনবিশিষ্ট যে কোনো পদার্থখণ্ড বুঝায়। **কণা** (Particle) বলিতে আয়তনহীন (কার্যত খুব কম আয়তনের) কিন্তু ওজনবিশিষ্ট কোন বস্তু বুঝায়। যে কোন বস্তুকে অসংখ্য কণার সমষ্টি বলিয়া ধরা যাইতে পারে। আয়তনহীন কোন বস্তু থাকিতে পারে না ; সে হিসাবে কণার অস্তিত্ব জ্যামিতির বিন্দুর ন্যায় সম্পূর্ণ কাল্পনিক। ইহা ব্যতীত আমরা ধরিয়া লইব যে আমাদের আলোচ্য বস্তুর যে কোনো দুইটি কণার মধ্যে দূরত্ব, বস্তুর স্থির অবস্থায় যাহা, সচল অবস্থায়ও তাহাই। এইরূপ বস্তুকে **দৃঢ়** (Rigid) বলে।

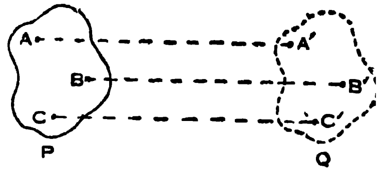
2-2. স্থিতি (Rest) ও গতি (Motion)—যে সমস্ত পদার্থ আমরা দেখি তাহাদের কোনটি স্থির, কোনটি বা সচল। যে পদার্থ তাহার নিজের স্থান ত্যাগ করে না, অর্থাৎ যাহা একই স্থানে রহিয়াছে, তাহাকে আমরা স্থির বা অচল বলি। আর যাহা সময়ের সঙ্গে সঙ্গে স্থান পরিবর্তন করিতেছে, তাহাকে সচল বলি। আমি মাটিতে দাঁড়াইয়া আছি, দূরে একটি গাছকে স্থির দেখিতেছি। চন্দ্রে কোন অধিবাসী থাকিলে সে গাছটিকে লক্ষ্য করিলে দেখিতে পাইত যে গাছটি পৃথিবীর সহিত প্রচণ্ড বেগে ঘুরিতেছে। যাহা আমার কাছে স্থির, চন্দ্রের অধিবাসীর নিকট তাহা গতিশীল। অতএব দেখা যাইতেছে গতি ও স্থিতি এই দুই অবস্থা আপেক্ষিক (relative), অর্থাৎ উহা পর্যবেক্ষকের অবস্থার উপর নির্ভর করে। কাজেই আমরা যে গতি ও স্থিতির কথা বলি তাহা আপেক্ষিক গতি (Relative Motion) ও আপেক্ষিক

স্থিতি (Relative Rest) মাত্র। **পারিপার্শ্বিকের সাপেক্ষে যাহা স্থির আছে, আমরা সাধারণত তাহাকেই স্থির বলি** এবং **পারিপার্শ্বিকের সাপেক্ষে যাহার গতি আছে, তাহাকেই সচল বলি।**

2-3. গতির প্রকারভেদ—যত জটিলই হউক না কেন, যে কোন গতি দুই প্রকার সরল গতির সমন্বয়ে গঠিত। এই দুইটি হইল চলন (Translation) ও আবর্তন (Rotation)।

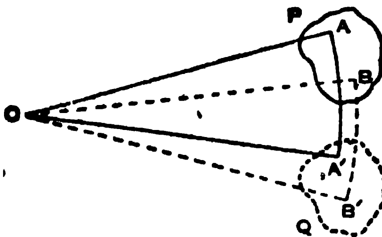
চলন—যদি কোন বস্তু এমনভাবে চলিতে থাকে যে চলার ফলে উহার অন্তর্গত প্রত্যেকটি কণা একই দূরত্ব অতিক্রম করে, তাহা হইলে এই গতিকে **চলন** বলে।

মনে কর একটি দৃঢ় বস্তু প্রথম অবস্থিতি P (2·1 চিত্র) হইতে Qতে গিয়াছে এবং উহার গতি চলন। বস্তুটির যে কোন তিনটি কণার প্রথম অবস্থিতিকে A, B, C এবং দ্বিতীয় অবস্থিতিকে A', B', C' দ্বারা সূচিত করা হইলে চলনের সংজ্ঞা অনুসারে $AA' = BB' = CC'$। আবার দৃঢ় বলিয়া $AB = A'B'$ এবং $BC = B'C'$ হওয়ায় পূর্বোক্ত রেখা তিনটি পরস্পরের সমান্তরাল। কাজে কাজেই AB এবং $A'B'$ও পরস্পর সমান্তরাল। অর্থাৎ **গতি চলন হইলে বস্তুর যে কোন দুইটি বিন্দু যোগ করিয়া যে রেখা পাওয়া যাইবে, বস্তুটির বিভিন্ন অবস্থিতিতে তাহারা পরস্পরের সমান্তরাল থাকিবে।**



চিত্র 2·1

আবর্তন—যখন কোন বস্তু কোন নির্দিষ্ট বিন্দু বা অক্ষ হইতে দূরত্ব সমান রাখিয়া ঘোরে, তখন তাহার গতিকে **আবর্তন** বলে।

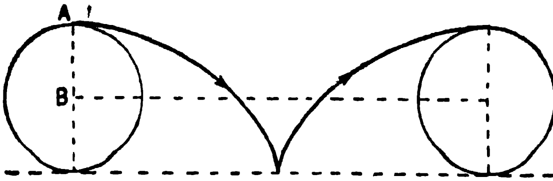


চিত্র 2·2

2·2 চিত্রে বস্তুটির প্রথম অবস্থিতি P হইতে দ্বিতীয় অবস্থিতি Qতে এমন ভাবে আসিয়াছে যে নির্দিষ্ট বিন্দু O হইতে বস্তুটির মধ্যস্থিত যে কোন কণা A বা

Bর দূরত্ব সর্বদা সমান রহিয়াছে, অর্থাৎ $OA=OA'$ এবং $OB=OB'$। এইরূপ গতির নামই আবর্তন। O বিন্দু বস্তুটির মধ্যেও অবস্থিত হইতে পারে। O ভিতরে হউক অথবা বাহিরে হউক **আবর্তনে বস্তুর বিভিন্ন কণা সমকেন্দ্রিক বৃত্তপথে ঘোরে।**

জটিল গতি—আমরা যে দুই প্রকার গতির কথা বলিলাম তাহাদের সংমিশ্রণে নানা প্রকার জটিল গতির উদ্ভব হইতে পারে। একটি উদাহরণ দেওয়া যাউক। 2·3 চিত্রে A কণাটি B বিন্দুর চতুর্দিকে ঘুরিতেছে। B



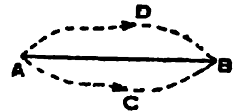
চিত্র 2·3

সরল রেখায় সম্মুখের দিকে অগ্রসর হইতেছে। একটি চাকা রাস্তা দিয়া গড়াইয়া গেলে অনুরূপ অবস্থার সৃষ্টি হয়। A চাকার পরিধিস্থ কোন কণা এবং B চাকার কেন্দ্র। B সাপেক্ষে Aর গতি আবর্তন। আবার বাহিরের কোন পর্যবেক্ষকের নিকট Bর গতি চলন। প্রশ্ন হইল, এই পর্যবেক্ষকের নিকট Aর গতি কি প্রকার হইবে। বাহির হইতে দেখিলে Aর গতিপথ কিরূপ হইবে তাহা 2·3 চিত্রে দেখান হইয়াছে। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে ইহা কেবলমাত্র আবর্তন বা কেবলমাত্র চলন নহে। ইহা Bর চতুর্দিকে Aর আবর্তন এবং Bর চলনের মিলিত ফল। অনুরূপে দুইটি আবর্তন পরস্পরের সংমিশ্রণে জটিলতর গতি সৃষ্টি করিতে পারে। উদাহরণ স্বরূপ আমরা বলিতে পারি যে চাঁদ পৃথিবীর চতুর্দিকে, আবার পৃথিবী সূর্যের চারিদিকে ঘুরিতেছে। সূর্যে কোন পর্যবেক্ষক থাকিলে তাহার নিকট চাঁদের গতি এই দুইটি আবর্তনের মিলিত ফল। যতই জটিল হউক না কেন, **যে কোন গতিকেই সামগ্রিক ভাবে একটি চলন ও একটি আবর্তনের সমষ্টিরূপে কল্পনা করা যায়।**

2-4. কয়েকটি সংজ্ঞা—বলবিদ্যায় Displacement, Speed, Velocity প্রভৃতি কথাগুলি বিশেষ অর্থে ব্যবহৃত হয়। এই কথাগুলির ব্যবহারিক অর্থ আমরা আলোচনা করিব।

Displacement : কোন সচল বস্তুর প্রথম ও শেষের অবস্থিতির (initial and final positions) মধ্যে যে দূরত্ব তাহাকে Displacement (সরণ) বলে।

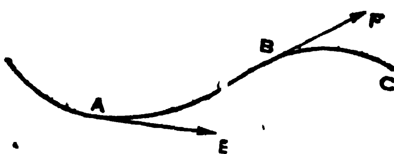
2·4 চিত্রে A হইতে একটি কণা B অবস্থিতিতে আসিয়াছে। এক্ষেত্রে AB হইল উহার সরণ। আসিবার পথ ACB, ADB বা অন্য যাহাই হউক না কেন, সরণ একই। লক্ষ্য করিতে হইবে যে A হইতে B পর্যন্ত স্থানপরিবর্তন বুঝাইতে হইলে কেবলমাত্র ABর মান বলিলেই হইবে না। AB রেখাটি কোন্ দিকে তাহাও বলিতে হইবে। তাই সরণের যেমন **মান** (**Magnitude**) আছে, তেমনি একটি **নির্দিষ্ট দিক্ও** (**Direction**) আছে। মান ও দিক্ উভয়ে মিলিয়া ইহাকে নির্দেশ করে।



চিত্র 2·4

Speed : একক সময়ে (Unit Time) কোন বস্তু যে পথ অতিক্রম করে তাহাকে উহার Speed (দ্রুতি) বলে। এই পথ সরল অথবা বক্র হইতে পারে। কাজে কাজেই দ্রুতির সহিত দিকের কোনও সম্বন্ধ নাই। কেবলমাত্র মান দিয়া উহাকে নির্দেশ করা হয়।

Velocity : Displacement-এর পরিবর্তনের হারকে Velocity (বেগ) বলে। সরণ নির্দেশে মান ও দিকের প্রয়োজন হয় বলিয়া **বেগ নির্দেশের জন্যও মান এবং দিক্ উভয়ের প্রয়োজন। দ্রুতি বুঝাইতে দিকের প্রয়োজন হয় না, মান দিয়াই উহা নির্দিষ্ট হয়।** ইহাই বেগ ও দ্রুতির পার্থক্য। একটি গাড়ী ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে উত্তর দিকে যাইতেছিল; পরে সেটি ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে পূর্বদিকে গেল। গাড়ীর দ্রুতি প্রথম ও শেষ ক্ষেত্রে একই আছে, তথাপি দিক্ পরিবর্তনের জন্য তাহার বেগ দুই ক্ষেত্রে বিভিন্ন। আবার ধরা যাউক, একটি কণা ABC (2·5 চিত্র) এই বক্র পথে এরূপভাবে চলিয়াছে যে সমান অবকাশে (equal intervals of time) উহা সমান দূরত্ব (equal distances) অতিক্রম করে, অর্থাৎ উহার দ্রুতি স্থির (constant)। কিন্তু



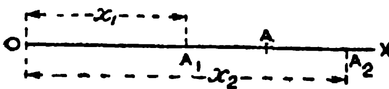
চিত্র 2·5

বিভিন্ন অবস্থিতিতে উহার বেগ কি এক? ABC বক্রপথের উপর অঙ্কিত, A বিন্দুর স্পর্শক AE, A বিন্দুতে ঐ কণাটির বেগের দিক্ নির্দেশ করে; আবার B বিন্দুতে বেগের দিক্ স্পর্শক BFএর অভিমুখে। সুতরাং বেগের মান স্থির থাকিলেও উহার দিক্ ক্রমাগত পরিবর্তিত হইতেছে। অতএব এ ক্ষেত্রে দ্রুতি স্থির, কিন্তু বেগ পরিবর্তনশীল।

সি-জি-এস্ পদ্ধতিতে **দ্রুতি** ও **বেগের একক** প্রতি সেকেণ্ডে এক সে-মি (1 cm per sec বা 1 cm/sec) এবং এফ্-পি-এস্ পদ্ধতিতে উহা প্রতি সেকেণ্ডে এক ফুট (1 ft. per sec বা 1 ft/sec)।

2-5. সম (Uniform) ও অসম (Non-uniform বা variable) বেগ ঃ দ্রুতি ও বেগ উভয়ই সম বা অসম হইতে পারে। যখন কোন বস্তু সমান অবকাশে সমান দূরত্ব অতিক্রম করে, তখন তাহার দ্রুতিকে **সমদ্রুতি** বলে। যখন কোন বস্তু **একই দিকে চলিতে চলিতে** সমান অবকাশে সমান দূরত্ব অতিক্রম করে, তখন তাহার বেগকে **সমবেগ** বলে। অন্যথায় বেগ অসম। দিক্ পরিবর্তিত হইলে দ্রুতি সমান থাকিলেও বেগ অসম হইবে।

তাৎকালিক বেগ (Instantaneous velocity) ঃ অসম হইলে বেগের মান বা দিক্ উভয়ই ক্রমাগত পরিবর্তিত হইতে থাকিবে। এক্ষেত্রে কোন এক বিশেষ মুহূর্তে বস্তুর বেগ বলিতে কি বুঝিব? ধরা যাউক যে ঐ মুহূর্তে বস্তুটির বেগ-পরিবর্তন বন্ধ হইয়া গেল। এই অবস্থায় এক সেকেণ্ডে বস্তুটি যে দিকে যে দূরত্ব অতিক্রম করিত তাহাই উহার ঐ মুহূর্তের বেগ। ইহাকে বস্তুটির **তাৎকালিক বেগ (Instantaneous velocity)** বলা হয়।



চিত্র 2 6

মনে কর কোন বস্তু OX রেখায় (2·6 চিত্র) সমবেগে যাইতেছে। A_1 ও A_2 বিন্দু দুইটি ঐ রেখায় অবস্থিত যে কোন বিন্দু O হইতে যথাক্রমে x_1 ও x_2 দূরত্বে অবস্থিত। A_1 অতিক্রম কালে সময় যদি হয় t_1 ও A_2 অতিক্রম কালে t_2, তাহা হইলে বেগ

$$v=\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1} \qquad (2{\cdot}1)$$

গড় বেগ (Average Velocity) ঃ উপরের বর্ণনায় বেগ অসম হইলে উক্ত সমীকরণ $t_2 - t_1$ অবকাশের **গড় বেগ** নির্দেশ করে। কোন নির্দিষ্ট বিন্দু A অতিক্রম করার সময় বেগ কত তাহা যদি আমরা জানিতে চাই তাহা হইলে A_1 ও A_2 বিন্দুকে Aর দুই পাশে অত্যন্ত কাছে ধরিয়া উক্ত সমীকরণ প্রয়োগ করিতে হইবে। ইহাতে $x_2 - x_1$, এবং $t_2 - t_1$, উভয়ই অত্যন্ত ক্ষুদ্র হইবে। এই বেগ A বিন্দুতে অবস্থান কালে বস্তুটির **তাৎকালিক বেগ**।

2-6. Acceleration (ত্বরণ) ঃ বেগ পরিবর্তিত হইতে থাকিলে কখন কখন বেগ-পরিবর্তনের হারের আলোচনা প্রয়োজন হয়। তিনটি উপায়ে বেগের পবিবর্তন ঘটিতে পাবে ঃ

(1) বেগের মান পবিবর্তিত হইতেছে, কিন্তু দিক্ ঠিকই আছে ;

(2) বেগের দিক্ পবিবর্তিত হইতেছে, কিন্তু মান ঠিকই আছে ; এবং

(3) বেগের মান ও দিক্ উভয়ই পবিবর্তিত হইতেছে।

Velocityর পরিবর্তনেব হাবকে **Acceleration (ত্বরণ)** বলে। **বেগের যেমন দিক্ ও মান আছে, ত্বরণেরও সেইরূপ।** প্রথম ক্ষেত্রে ত্বরণ নির্ণয় করা সহজ। বস্তুটি নির্দিষ্ট দিকে চলিতেছে, কিন্তু তাহাব বেগ ক্রমশ বাড়িতেছে বা কমিতেছে। একক সমযে বেগের যে পবিবর্তন হইবে তাহাই ত্বরণ।

Unit of acceleration (ত্বরণের একক)—Unit সমযে বেগের পরিবর্তন এক Unit হইলে ত্বরণ হইবে এক Unit। সি-জি-এস্ পদ্ধতিতে বেগের Unit প্রতি সেকেণ্ডে এক সে-মি। যদি এক সেকেণ্ডে এই পরিমাণ (অর্থাৎ প্রতি সেকেণ্ডে এক সেন্টিমিটার) বেগ পবিবর্তন হয তাহা হইলে বেগ পরিবর্তনের হার হইল প্রতি সেকেণ্ডে, প্রতি সেকেণ্ডে এক সে-মি। ইহাই হইল Unit acceleration (একক ত্বরণ)। ত্বরণের এককে 'প্রতি সেকেণ্ডে' কথাটি দুইবার আসে। তাই ইহাকে সংক্ষেপে বলা হয় প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে এক সে-মি। এফ্-পি-এস্ পদ্ধতিতে ত্বরণের একক প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে এক ফুট। মনে কর কোন বস্তুর বেগ প্রথমে সেকেণ্ডে দুই ফুট। চার সেকেণ্ড পরে বেগ বাড়িয়া হইল সেকেণ্ডে দশ ফুট। তাহা হইলে চার সেকেণ্ডে বেগের পরিবর্তন = (সেকেণ্ডে দশ ফুট − সেকেণ্ডে দুই ফুট) = সেকেণ্ডে আট ফুট।

সুতরাং বেগ পরিবর্তনের হার অর্থাৎ ত্বরণ = সেকেণ্ডে আট ফুট/চারি সেকেণ্ড = প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে দুই ফুট।

গণিতের ভাষায় লেখা হইবে, বেগের পরিবর্তন = 10ft/sec − 2ft/sec = 8ft/sec.

$$\therefore \quad \text{ত্বরণ} = \text{বেগের পরিবর্তনের হার} = \frac{8\text{ft/sec}}{4\text{sec}} = 2\text{ft per sec per sec}$$

বা সংক্ষেপে 2ft/sec^2.

মনে রাখিতে হইবে যে বেগের ন্যায় ত্বরণও সম বা অসম হইতে পারে। দিক্ ঠিক রাখিয়া ত্বরণের মান পরিবর্তন অসম ত্বরণের সহজতম উদাহরণ। কিন্তু বেগের মত, মাত্র দিক্ পরিবর্তনেও ত্বরণ অসম হয়।

মন্দন (Retardation বা Deceleration): কোন বস্তুর বেগ যখন কমিয়া যাইতে থাকে তখন পরিবর্তনের হারকে **মন্দন** বলে। লক্ষ্য করিতে হইবে যে ত্বরণ বলিতে আমরা বেগের বৃদ্ধি বুঝাই নাই, বেগের পরিবর্তন বুঝাইয়াছি। অতএব মন্দন একটি বিশেষ ধরণের ত্বরণ ছাড়া আর কিছু নয়। তাই মন্দনকে আমরা 'নিগেটিভ' ত্বরণ বলিতে পারি। মনে কর কোন বস্তুর প্রাথমিক বেগ = 12 ft/sec। তিন সেকেণ্ড পরে বেগ কমিয়া হইল 4 ft/sec তাহা হইলে বেগের পরিবর্তন = 4ft/sec − 12ft/sec = −8ft/sec।

$$\therefore \quad \text{ত্বরণ} = \text{বেগের পরিবর্তনের হার} = \frac{-8\text{ft/sec}}{3\text{sec}} = \frac{-8}{3}\,\text{ft/sec}^2\,;$$

$$\text{অর্থাৎ মন্দন} = \frac{8}{3}\text{ft/sec}^2.$$

2-7. Equations of Uniformly Accelerated Motion (সমত্বরিত গতি বিষয়ক সমীকরণ)—ধরা যাক কোন একটি কণা সমত্বরণে (uniform বা constant acceleration-এ) চলিতেছে অর্থাৎ প্রতি সেকেণ্ডে উহার বেগ সমান পরিমাণে বাড়িয়া চলিয়াছে। কোন এক মুহূর্তে উহার বেগ আমরা নির্ণয় করিলাম। ইহাকে আমরা প্রাথমিক বা আদি বেগ (initial velocity) বলিব। প্রশ্ন এই যে পরবর্তী কোন্ মুহূর্তে উহার বেগ কত হইবে? দুই মুহূর্তের মধ্যে যে গতিকাল বা অবকাশ (interval of time) অতিবাহিত হইয়াছে, ঐ অবকাশে কণাটি প্রাথমিক অবস্থিতি হইতে কত দূরে থাকিবে? এই সকল প্রশ্নের উত্তর আমরা কয়েকটি প্রয়োজনীয়

সমীকরণের সাহায্যে পাইতে পারি। টেলিস্কোপের আবিষ্কর্তা গ্যালিলিও এই সমীকরণগুলি বাহির করেন।

ধরা যাক, আদি বেগ $=u$,

সমত্বরণ $=f$,

t অবকাশ অন্তে উহার বেগ $=v$,

t অবকাশে অতিক্রান্ত দূরত্ব $=s$.

প্রথম সমীকরণ :

t অবকাশে বেগের পরিবর্তন $=v-u$,

বেগের পরিবর্তনের হার $=\frac{v-u}{t}$

কিন্তু ত্বরণের সংজ্ঞা অনুসারে,

বেগের পরিবর্তনের হার $=$ ত্বরণ $=f$.

$$f=\frac{v-u}{t}$$

অর্থাৎ $$\mathbf{v=u+ft} \qquad (2.2)$$

ইহাই সমত্বরিত গতি সম্বন্ধীয় প্রথম সমীকরণ। ইহার সাহায্যে আদি বেগ u, অন্ত বেগ v, ত্বরণ f ও গতিকাল বা অবকাশ tর মধ্যে যে কোন তিনটি জানা থাকিলে অন্যটি বাহির করা যায়।

দ্বিতীয় সমীকরণ :

যাত্রা আরম্ভের t_1 সেকেণ্ড পরে কণাটির বেগ (প্রথম সমীকরণ অনুসারে) $v_1=u+ft_1$;

সময় শেষের t_1 সেকেণ্ড আগে উহার বেগ $v_2=u+f(t-t_1)$

এই দুই বেগের গড় $=\frac{u+ft_1+\{u+f(t-t_1)\}}{2}=\frac{u+u+ft}{2}=\frac{u+v}{2}$

অতএব দেখা যাইতেছে যে আরম্ভের যে কোন সময় পরে, ও শেষের ঠিক তত আগে যে বেগ (অর্থাৎ v_1 ও v_2), উহাদের গড় ধ্রুব (constant)। সুতরাং যে সময় কণাটি চলিতেছে বলিয়া ধরা হইয়াছে, সেই সময়কে অর্থাৎ আলোচ্য গতিকালকে, আমরা যদি এইরূপ জোড়া জোড়া মুহূর্তে ভাগ করি,

তবে প্রত্যেক যুগ্ম মুহূর্তের গড় বেগ হইবে $\frac{u+v}{2}$। অতএব আমরা ধরিতে পারি যে কণাটি এই গড় বেগেই সমস্ত পথ অতিক্রম করিয়াছে। যেহেতু মোট সময় লাগিয়াছে t সেকেণ্ড, ও প্রতি সেকেণ্ডে কণাটি $\frac{u+v}{2}$ দূরত্ব অতিক্রম করে, অতএব মোট দূরত্ব

$$s=\frac{u+v}{2}\times t=\frac{u+u+ft}{2}\times t=\frac{2u+ft}{2}\times t,$$

অর্থাৎ $$s=ut+\tfrac{1}{2}ft^2 \qquad (2\cdot3)$$

ইহাই দ্বিতীয় সমীকরণ।

অনুসিদ্ধান্ত : t অবকাশে কণাটি মোট কতদূর যাইবে—দ্বিতীয় সমীকরণের সাহায্যে তাহাই বাহির করা যায়। কিন্তু যদি প্রশ্ন করা যায় যে কণাটি তৃতীয় সেকেণ্ডে বা চতুর্থ সেকেণ্ডে কিংবা সাধারণভাবে n-তম সেকেণ্ডে কতদূর গিয়াছে, তাহা হইলে এই সমীকরণ হইতে সোজাসুজি উহার উত্তর পাওয়া যাইবে না। n সেকেণ্ডে কণাটি যতটা পথ যায় তাহা হইতে $(n-1)$ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ বাদ দিলে, কণা n-তম সেকেণ্ডে যে পথ অতিক্রম করিয়াছে তাহা পাওয়া যায়। মোট n সেকেণ্ডে কণাটি যদি S_n দূরত্ব যায় ও $n-1$ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ যদি S_{n-1} হয়, তবে দ্বিতীয় সমীকরণে t স্থানে n লিখিয়া আমরা পাই,

$$S_n=un+\tfrac{1}{2}fn^2,$$

অনুরূপে t স্থানে $n-1$ লিখিয়া পাই

$$S_{n-1}=u(n-1)+\tfrac{1}{2}f(n-1)^2$$

∴ n-তম সেকেণ্ডে কণাটি যে দূরত্ব যায়, তাহা

$$S_n-S_{n-1}=u+\tfrac{1}{2}f(2n-1) \qquad (2\cdot4)$$

তৃতীয় সমীকরণ :

প্রথম সমীকরণ হইতে $v^2=(u+ft)^2=u^2+f^2t^2+2uft$

$$=u^2+2f(ut+\tfrac{1}{2}ft^2)$$

অর্থাৎ $$v^2=u^2+2fs \qquad (2\cdot5)$$

ইহাই তৃতীয় সমীকরণ। লক্ষ্য করিতে হইবে এই সমীকরণে আদি বেগ u হইতে অন্ত বেগ v লাভ করিতে কণাটি f সমত্বরণে s পথ অতিক্রম করিয়াছে। u, v, f, ও sএর যে কোন তিনটি জানা থাকিলে অন্যটি ইহার সাহায্যে বাহির করা যায়। আরও লক্ষণীয় যে এই সমীকরণে গতিকাল t নাই।

উদাহরণ ঃ (1) কোন বস্তু স্থির অবস্থা হইতে $4\frac{1}{2}$ সেকেণ্ডে $40\frac{1}{2}$ ft. অতিক্রম করিল। উহার ত্বরণ কত ?

উত্তর ঃ এ ক্ষেত্রে আদি বেগ $u=0$, $t=4\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড এবং $s=40\frac{1}{2}$ ft। f বাহির করিতে হইবে।

দ্বিতীয় সমীকরণ $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ হইতে পাওয়া গেল

$$\frac{81}{2}\text{ft} = \frac{1}{2}f\left(\frac{9}{2}\text{sec}\right)^2 = \frac{f}{2}.\ \frac{81}{4}\text{sec}^2$$

অতএব ত্বরণ $f=4\text{ft/sec}^2$.

(2) কোন বস্তু তৃতীয় সেকেণ্ডে 25 ft ও ষষ্ঠ সেকেণ্ডে 55 ft অতিক্রম করিল। আট সেকেণ্ডে উহা মোট কত পথ অতিক্রম করিবে ?

উত্তর : বস্তুটির আদি বেগ $=u$, ত্বরণ $=f$। তিন সেকেণ্ডে উহা যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহাকে s_3 ও দুই সেকেণ্ডে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহাকে s_2 ধরিলে দ্বিতীয় সমীকরণ অনুসারে

$$s_3=3u+\frac{9}{2}f$$
$$s_2=2u+2f$$

$\therefore$ তৃতীয় সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব $=25=s_3-s_2=u+\frac{5}{2}f$

অনুরূপে, ষষ্ঠ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব

$$55=s_6-s_5-(6u+18f)-(5u+\frac{25}{2}f)$$
$$=u+\frac{11}{2}f$$

$\therefore$ $25=u+\frac{5}{2}f$, ও $55=u+\frac{11}{2}f$

এই দুইটি সমীকরণ সমাধান করিয়া পাওয়া যায় $f=10$ এবং $u=0$

$\therefore$ আট সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব $=u\ 8+\frac{1}{2}.f.8^2=\frac{1}{2}.10\ 64=320$ ft.

(3) কোন কণার ত্বরণ প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে 25 ft.। স্থির অবস্থা হইতে 20,000 ft অতিক্রম করার পর উহার বেগ কত হইবে বাহির কর।

উত্তর : এ ক্ষেত্রে $f=25$, $u=0$, $s=20,000$ ft.।

তৃতীয় সমীকরণ হইতে

$v^2=u^2+2fs=2\times25\times20,000$

বা $v^2=1000,000$

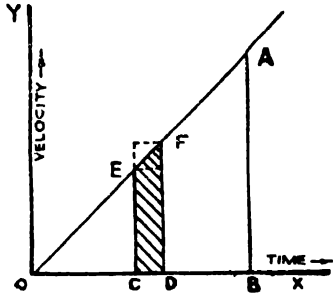
$\therefore$ $v=1000\text{ft/sec}$.

2-8. Uniformly accelerated motion—Graphical method (লেখচিত্রের সাহায্যে গতিবিষয়ক সমীকরণ নির্ণয়)

(i) $s=\frac{1}{2}ft^2$: স্থির অবস্থা হইতে 'f' accelerationএ চলিয়া 't' সময় পরে কোন বস্তুর velocity v হইলে সংজ্ঞানুসারে $v=ft$ হইবে।

যদি লেখচিত্রের OX-অক্ষে সময় (t) এবং OY-অক্ষের দ্বারা velocity (v) নির্দেশ করা হয় তবে $v=ft$ (অর্থাৎ $y=mx$) সমীকরণ একটি সরলরেখা দ্বারা নির্দিষ্ট হইবে। এই সরলরেখা মূল বিন্দু O দিয়া যাইবে, যেহেতু যখন $t=0$, তখন $v=0$ ছিল। মনে কর OA এই সরলরেখা (চিত্র 2·7)।

OA রেখার উপর E, F, A তিনটি বিন্দু। E, F, A হইতে OX-এর উপর যথাক্রমে $EC, FD; AB$ লম্ব টান। OC-দৈর্ঘ্য যতটুকু সময় নির্দেশ করে, ঐ সময়ে বস্তুটির velocity যাহা হইবে তাহা CE-রেখার দৈর্ঘ্য দ্বারা পাওয়া যাইবে। অনুরূপে, OD ও OB রেখার দৈর্ঘ্য যে সময় নির্দেশ করিবে সেই সময়ে velocity যথাক্রমে DF ও BA রেখার দৈর্ঘ্য দ্বারা সূচিত হইবে।



চিত্র 2·7

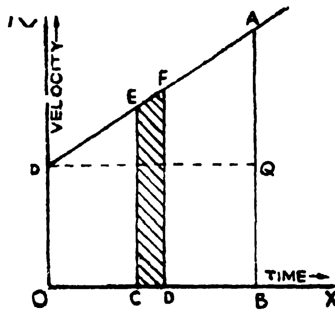
CD রেখাটুকু যে স্বল্প-সময় নির্দেশ করে ঐ অবসরে যে দূরত্ব অতিক্রান্ত হইবে তাহা ($s=vt$ এই সূত্রানুযায়ী) $CE\times CD$ হইতে বেশী কিন্তু $DF\times CD$ হইতে কম। CDর দৈর্ঘ্য খুব কম হইলে (অর্থাৎ খুব স্বল্প সময় বিবেচনা করিলে) এই দূরত্ব স্পষ্টতঃই $CDEF$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলের সমান ধরা যাইবে।

OB দ্বারা নির্দিষ্ট t-সময়ে বস্তুটি কতদূরে যাইবে তাহা O হইতে B বিন্দু পর্যন্ত অঙ্কিত এইরূপ বহুসংখ্যক ক্ষেত্রের সমষ্টি হইবে অর্থাৎ উহা হইবে OAB ত্রিভুজের ক্ষেত্রফলের সমান। যেহেতু t-সময় পরে velocity $v=ft$ সুতরাং $AB=ft$.

$$\text{অতএব } \triangle OAB=\tfrac{1}{2}AB.OB$$
$$=\tfrac{1}{2}ft.t$$
$$\therefore\ s=\tfrac{1}{2}ft^2.$$

(ii) $s = ut + \frac{1}{2}ft^2$: যদি বস্তুটির আদি velocity u হয় তবে t-সময় পরে উহার velocity হইবে $v = u + ft$.

v-t লেখচিত্রে $v = u + ft$ সমীকরণ ($y = mx + c$) একটি সরলরেখা দ্বারা নির্দিষ্ট হইবে। এই সরলরেখা (PA) OY-অক্ষকে P বিন্দুতে ছেদ করিলে $OP = u$ হইবে (চিত্র 2·8)।



চিত্র 2·8

CD-দ্বারা নির্দিষ্ট স্বল্প সময়ে বস্তুটি যে দূরত্ব অতিক্রম করিবে তাহা পূর্বোক্ত যুক্তি অনুসারে $CDEF$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল দ্বারা নির্দেশ করা যাইবে।

অতএব OB-দ্বারা নির্দিষ্ট t-সময়ে বস্তু যে দূরত্ব অতিক্রম করিবে তাহা $OPAB$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল দ্বারা পাওয়া যাইবে।

$$\text{ক্ষেত্র } OPAB = \text{আয়ত } OPQB + \triangle APQ$$
$$= OP.OB + \tfrac{1}{2}PQ.AQ$$
$$= u.t + \tfrac{1}{2}ft.t$$
$$\therefore \quad s = ut + \tfrac{1}{2}ft^2.$$

2-9. Laws of falling bodies (পড়ন্ত বস্তুর সূত্র)—পড়ন্ত বস্তুর পতন লক্ষ্য করিয়া গ্যালিলিও তিনটি সূত্র বাহির করেন। উহাদের **পড়ন্ত বস্তুর সূত্র** বলিয়া অভিহিত করা যায়। সূত্রগুলি নীচে দেওয়া হইল :

স্থির অবস্থা হইতে **বিনা বাধায়** নীচে পড়িতে থাকিলে

(1) **প্রত্যেক বস্তু সমান সময়ে সমান পথ অতিক্রম করে ;**

(2) **নির্দিষ্ট সময়ে যে বেগ উৎপন্ন হয় তাহা ঐ সময়ের সমানুপাতিক ;** ও

(3) **নির্দিষ্ট সময়ে বস্তুটি যে পথ অতিক্রম করে তাহা ঐ সময়ের বর্গের সমানুপাতিক।**

সহজেই বুঝা যায় যে স্থির অবস্থা হইতে সমত্বরণে কোন বস্তু চলিলে তাহার গতির উপরিউক্ত তিনটি বিশেষত্বই থাকিবে। ইহার প্রমাণ পরবর্তী পৃষ্ঠায় দেওয়া হইল।

উপরের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে যে কোন পড়ন্ত বস্তুর $v \propto t$। $\therefore$ $v/t =$ ধ্রুব। কিন্তু v/t হইল বেগ পরিবর্তনের হার অর্থাৎ ত্বরণ। সুতরাং ত্বরণ ধ্রুব অর্থাৎ সম। এই ত্বরণকে f বলা হউক। সমত্বরিত গতির সমীকরণে $u=0$ ধরিলে পাওয়া যায়

$$s=\frac{1}{2}ft^2 \qquad (2\cdot6)$$

কাজে কাজেই স্থির অবস্থা ($u=0$) হইতে পড়ন্ত যে কোন বস্তুর অতিক্রান্ত পথ t^2এর সমানুপাতিক। ইহাই উপরের তৃতীয় সূত্র। প্রথম সূত্র অনুসারে দুইটি বস্তুর t এক হইলে sও এক। সুতরাং 2·6 সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় যে উহাদের fও একই। অর্থাৎ এই তিনটি সূত্রের সাহায্যে আমরা বলিতে পারি যে সকল বস্তুই পৃথিবীর আকর্ষণে একই সমত্বরণে নীচের দিকে পড়ে। পৃথিবীর আকর্ষণকে **Gravity** বা **অভিকর্ষ** বলে।


চিত্র 2·9

2-10. নিউটনের গিনি ও পালকের পরীক্ষা (Guinea and Feather Experiment) —

এই মাত্র আমরা বলিয়াছি সকল বস্তুই সমত্বরণে নীচের দিকে পড়ে। সকল সময়েই কি আমরা তাহা দেখিতে পাই? একটি পয়সা ও ছোট একটুকরা কাগজ একসঙ্গে ছাড়িয়া দিলাম। দুইটি কি এক সঙ্গে পড়ে? কাগজের টুকরা কি বাতাসে ভাসিতে ভাসিতে খানিকটা দেরী করিয়া নীচে পড়ে না? তাহা হইলে আমাদের কথার সত্যতা রহিল কোথায়?

পড়ন্ত বস্তুর যে সূত্র তিনটি দেওয়া হইয়াছে তাহা লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে প্রথমেই বলা আছে "বিনা বাধায় পড়িতে থাকিলে"। এক্ষেত্রে কাগজ-টুকরা বিনা বাধায় পড়িতে পারিতেছে না। বায়ুর ভিতর দিয়া পড়িবার সময় সকল বস্তুই কিছু বাধা পায়। এই বাধা বস্তুর আকার ও ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে। পয়সাটির উপর পৃথিবীর যে আকর্ষণ তাহার তুলনায় বায়ুর বাধা উপেক্ষণীয়। কাজে কাজেই পয়সার পতন কার্যত বিনা বাধায় পতন। কিন্তু কাগজের বেলায় পৃথিবীর আকর্ষণ কম এবং তাহার সহিত তুলনায় বায়ুর বাধা মোটেই উপেক্ষা করা যায় না। ফলে পতন ব্যাহত হয়।

এখন প্রশ্ন হইল বায়ু যদি না থাকে তাহা হইলে কি হইবে? পয়সা ও কাগজ এক সঙ্গে নীচে পড়িবে কি? ইহার উত্তর পাওয়া যায় নিউটনের প্রসিদ্ধ 'গিনি ও পালক' পরীক্ষায়। পরীক্ষাটি নীচে বর্ণিত হইল।

একটি মোটা, লম্বা, ফাঁপা কাচের নলের মধ্যে একটি পয়সা ও ছোট এক টুকরা কাগজ বা পালক ভরিয়া দুই মুখ বন্ধ করা হইল (2·9 চিত্র)। একদিকে বায়ু নিষ্কাশনের জন্য সরু নল ও ছিপির ব্যবস্থা রাখিতে হইবে। বায়ু নিষ্কাশন যন্ত্রের (Air Pump) সাহায্যে মোটা নলটির ভিতর হইতে বায়ু বাহির করিয়া ছিপি বন্ধ করিযা দেওয়া হইল। এইবাব যদি নলটিকে হঠাৎ উলটাইযা ধরা যায় তাহা হইলে দেখা যাইবে যে পয়সা ও কাগজের টুকরা এক সঙ্গেই নলের অন্য প্রান্তে পৌঁছিযাছে। ছিপি খুলিয়া বাতাস ঢুকিতে দিয়া নলটি আবার উলটাইয়া ধরিলে দেখা যাইবে পয়সাটি কাগজের আগেই অপর প্রান্তে পৌঁছিয়াছে। ইহা দ্বারা দেখা গেল বায়ুব বাধা দূর করিলে পয়সা ও কাগজ একসঙ্গেই নীচে পড়ে। সকলের আগে নিউটন এই পরীক্ষাটি করিয়াছিলেন এবং পয়সা ও কাগজের পবিবর্তে একখানা গিনি ও একটুকরা পাখীর পালক লইযাছিলেন।

2-11. Acceleration due to gravity (অভিকর্ষজ ত্বরণ)—পৃথিবীর আকর্ষণে বিনা বাধায় পড়িতে থাকিলে কোন বস্তু যে ত্বরণ লাভ করে, তাহাকে acceleration due to gravity বা অভিকর্ষজ ত্বরণ বলে। এই ত্বরণ g অক্ষর দ্বারা সূচিত হয। ইহা সকল বস্তুর ক্ষেত্রেই সমান এবং ইহার মান মোটামুটি 980 cm/sec^2 বা 32ft sec^2। ভূপৃষ্ঠে বিভিন্ন স্থানে মানের সামান্য তারতম্য হয়।

2-12. উল্লম্ব পতন ও উত্থানের সমীকরণ (Equations of Vertical Motion)—2·7 অনুচ্ছেদে আমরা সমত্বরিত গতির সমীকরণগুলি প্রতিষ্ঠিত করিয়াছি। বিনা বাধায় পতন সমত্বরিত গতি। এই ত্বরণ অভিকর্ষজ ত্বরণ 'g'। সুতরাং উক্ত অনুচ্ছেদের সমীকরণগুলিতে ত্বরণ f স্থানে g ও অতিক্রান্ত পথ s স্থানে h লিখিয়া আমরা পাই

$$v = u + gt \qquad (2·7)$$

$$h = ut + \tfrac{1}{2}gt^2 \qquad (2·8)$$

$$v^2 = u^2 + 2gh \qquad (2·9)$$

এই সমীকরণগুলি বিনা বাধায় পতনের সমীকরণ।

কোন বস্তুকে যদি u এই আদি বেগে ঠিক খাড়াভাবে উপরের দিকে ছুঁড়িয়া দেওয়া হয় তাহা হইলে অভিকর্ষজ ত্বরণ 'g' এই বেগের বিপরীত দিকে ক্রিয়া করিবে। কাজেই উপরিলিখিত সমীকরণগুলিতে g স্থানে $-g$ লিখিয়া আমরা **ঊর্ধ্বে উৎক্ষিপ্ত** বস্তুর সমীকরণ পাইতে পারি ; অর্থাৎ এ ক্ষেত্রে

$$v=u-gt \qquad (2\cdot10)$$

$$h=ut-\tfrac{1}{2}gt^2 \qquad (2\cdot11)$$

$$v^2-u^2=-2gh \qquad (2\cdot12)$$

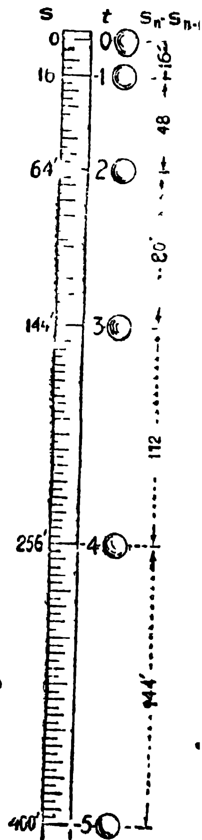
মনে রাখিতে হইবে 2·7 হইতে 2·12 সমীকরণগুলিতে $u=$আদি বেগ, $v=$ 't'-সময় গত হইবার পরে অন্ত বেগ, ও $h=$'t'-অবকাশে অতিক্রান্ত পথ।

u বেগে একটি ঢিল উপরের দিকে ছুঁড়িলে উহা কতখানি উপরে উঠিবে তাহা 2·12 সমীকরণের সাহায্যে সহজেই পাওয়া যায়। ঢিলটি উপরে উঠিবার সঙ্গে সঙ্গে তাহার বেগ কমিতে থাকে। সর্বোচ্চ বিন্দুতে উঠিয়া উহা মুহূর্তমাত্র স্থির থাকিয়া আবার নীচের দিকে পড়িতে থাকে। অতএব সর্বোচ্চ অবস্থানে H উচ্চতায় উহার বেগ$=0$। 2·12 সমীকরণে অন্ত বেগ $v=0$ ধরিলে পাওয়া যায়

$$u^2=2gH, \text{ অর্থাৎ } H=\frac{u^2}{2g} \qquad (2\cdot13)$$

সর্বোচ্চ অবস্থানে উঠিতে যে সময় লাগে তাহা 'T' ধরিলে 2·10 সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়

$$0=u-gT, \text{ অর্থাৎ } T=\frac{u}{g} \qquad (2\cdot14)$$



চিত্র 2·10

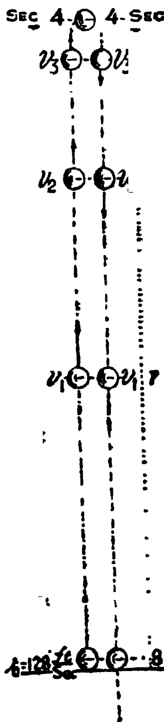
2·10 চিত্রে স্থির অবস্থা হইতে বিনা বাধায় পতনে বিভিন্ন সময়ে অতিক্রান্ত পথ দেখান হইয়াছে। চিত্রের বামপ্রান্তের সংখ্যাগুলি পতন-বিন্দু হইতে নীচের দিকের দূরত্ব ফুটে প্রকাশ করে। চিত্রের মধ্যের সংখ্যাগুলি পতনকাল হইতে অতিক্রান্ত সময়

সেকেণ্ডে নির্দেশ করে দক্ষিণের সংখ্যাগুলি এক একটি বিশেষ সেকেণ্ডে পড়ন্ত বস্তু কতটা পথ যায় তাহা দেখায়। এই চিত্রে $g = 32$ ft./sec² ধরা হইয়াছে। চিত্র হইতে দেখা যায় পড়ন্ত বস্তু প্রথম সেকেণ্ডে 16 ft., দ্বিতীয় সেকেণ্ডে 48 ft., তৃতীয় সেকেণ্ডে 80 ft., এইরূপে ক্রমবর্ধমান দূরত্ব অতিক্রম করে। যে কোন সেকেণ্ডে, ধরা যাউক n-তম সেকেণ্ডে, উহা যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহার মান

$$S_n - S_{n-1} = \tfrac{1}{2}gn^2 - \tfrac{1}{2}g\ (n-1)^2 = \tfrac{1}{2}g(2n-1)\text{।}$$

$n = 1, 2, 3$ প্রভৃতি ধরিয়া বিশেষ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ যাওয়া যাইবে।

তা ছাড়া বস্তুটি এক সেকেণ্ডে 16 ft., দুই সেকেণ্ডে 64 ft., তিন সেকেণ্ডে 144 ft, প্রভৃতি দূরত্ব অতিক্রম করে। এই দূরত্ব সময়ের বর্গের সমানুপাতিক।



চিত্র 2·11

নির্দিষ্ট বেগে কোন বস্তু খাড়াভাবে উপরে ছুঁড়িয়া দিলে তাহার গতি কিরূপ হয়, তাহা 2·11 চিত্রে দেখান হইয়াছে। উৎক্ষেপের প্রাথমিক বেগ চিত্রে 128ft/sec এবং gর মান 32ft/sec² ধরা হইয়াছে। প্রথম সেকেণ্ডে বস্তুটি 112ft উপরে উঠে এবং উহার বেগ v_1 তখন $128 - 32 =$ 96ft/sec হয়। দুই সেকেণ্ডে বস্তুটি 192ft উপরে উঠে, অর্থাৎ দ্বিতীয় সেকেণ্ডে উহা মাত্র 80ft উঠে। এই সময়ের শেষে বেগ $v_2 = 64$ft/sec। তৃতীয় সেকেণ্ডে বস্তুটি আরও 48ft উপরে উঠে ও বেগ কমিয়া $v_3 = 32$ft/sec হয়। চতুর্থ সেকেণ্ডের শেষে বেগ হয় শূন্য এবং বস্তুটি তাহার সর্বোচ্চ অবস্থানে থাকে। এই স্থান উৎক্ষেপবিন্দু হইতে 256ft উপরে। ইহার পরে বস্তুটি পড়িতে থাকে। এই পতন বিনা বাধায় স্থির অবস্থা হইতে পতন। দেখা যায় ঊর্ধ্বতম অবস্থানে আসিবার এক সেকেণ্ড আগে বস্তুটি যতটা উঠিয়াছে, তাহার পরবর্তী এক সেকেণ্ডে সে সেই পথই নামে এবং এই দুই সময়ে (চিত্রে

উৎক্ষেপের তিন সেকেণ্ড ও পাঁচ সেকেণ্ড পরে) তাহার বেগ এক কিন্তু বিপরীতমুখী। গতিপথের যে কোন বিন্দুতে ইহা সত্য। উৎক্ষেপ-বিন্দু হইতে যে কোন উচ্চতায় উঠিবার এবং নামিবার সময় বেগ সমান এবং বিপরীত।

উদাহরণ ঃ (1) অভিকর্ষজ ত্বরণ $g=32\text{ft/sec}^2$ হইলে, স্থির অবস্থা হইতে 100 ft পড়িতে এক টুকরা পাথরের কত সময় লাগিবে? উহার অন্ত বেগ কত?

এখানে $u=0$, $h=100$ ft. t বাহির করিতে আমরা 2.8 সমীকরণ প্রয়োগ করিতে পারি। উহা হইতে পাওয়া গেল

$$100=\tfrac{1}{2}\times 32t^2$$

$$\therefore\quad t=\tfrac{10}{4}=2\cdot5 \text{ sec.}$$

অন্তবেগ v বাহির করিতে 2.9 সমীকরণ প্রয়োগ করা যায়। উহা হইতে পাই

$$v^2=2.32.100=6400$$

$$\therefore\quad v=80 \text{ ft/sec.}$$

বিকল্পে t জানিতে পারায় v জানিবার জন্য আমরা 2·7 সমীকরণ প্রয়োগ করিতে পারিতাম। ইহাতে $u=0$, এবং $t=2\cdot5$ হওয়ায়

$$v=32\times 2\cdot5=80 \text{ ft/sec.}$$

(2) 120 ft/sec. বেগে কোন বস্তু খাড়াভাবে উপরে ছুড়িয়া দেওয়া হইল। উহা কত উপরে উঠিবে? 176 ft উপরে উঠিতে কত সময় লাগিবে? তখন বেগ কত?

2·13 সমীকরণ হইতে সর্বোচ্চ উচ্চতা $H=\dfrac{u^2}{2g}=\dfrac{120^2}{2\times 32}=225$ ft.

2·11 সমীকরন হইতে 176ft. উপরে উঠার সময় পাওয়া যাইবে। উহা হইতে

$$176=120t-\tfrac{1}{2}\times 32t^2$$

$$\text{বা } 16t^2-120t+176=0$$

$$\text{বা } 2t^2-15t+22=0$$

$$\text{বা } (t-2)\,(2t-11)=0$$

$$\therefore\quad t=2 \text{ বা } \tfrac{11}{2} \text{ sec.}$$

অর্থাৎ 176 ft উঠিতে উহার 2 sec বা 5·5 sec লাগিবে। লক্ষ্য করিতে হইবে যে উপরে উঠিবার পথের যে কোন বিন্দুতে বস্তুটি দুইবার আসে, একবার উঠিবার সময়, একবার নামিবার সময়। সেইজন্য 't'র দুইটি মান পাওয়া যায়।

176 ft উচ্চতায় বেগ বাহির করিতে 2·10 সমীকরণ প্রয়োগ করা যায়।

$t=2$ ধরিলে $v=120-32\times 2=56$ ft/sec এবং

$t=5\cdot5$ ধরিলে $v=120-32\times 5\cdot5=-56$ ft/sec।

দুইবারে মান এক ও চিহ্ন আলাদা হওয়ার অর্থ যে দুইবারে বেগ সমান, কিন্তু বিপরীতমুখী।

(3) ঊর্ধ্বে উৎক্ষিপ্ত বস্তু তাহার ঊর্ধ্বমুখী গতির শেষ আধ সেকেণ্ডে যে পথ যায়, প্রমাণ কর যে সেই পথ স্থির অবস্থা হইতে বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তুর প্রথম আধ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথের সমান।

ধরা যাউক উৎক্ষিপ্ত বস্তুর প্রাথমিক বেগ $=u$।

ঊর্ধ্বতম অবস্থানে উঠিতে উহার যদি T সময় লাগে, তবে $T=\frac{u}{g}$ (2·14 সমীকরণ)।

প্রথমে বাহির করিতে হইবে $T-\frac{1}{2}$ ও T এই সময়ের মধ্যে বস্তুটি কতখানি ওঠে।

T অবকাশে অতিক্রান্ত দূরত্ব $h=uT-\frac{1}{2}gT^2$

$T-\frac{1}{2}$ অবকাশে অতিক্রান্ত দূরত্ব h'

$$=u(T-\tfrac{1}{2})-\tfrac{1}{2}g(T-\tfrac{1}{2})^2 \text{ ।}$$

$\therefore$ এই আধ সেকেণ্ড অবকাশে অতিক্রান্ত দূরত্ব

$$=h-h'$$

$$=\tfrac{1}{2}u-\tfrac{1}{2}gT+\tfrac{1}{2}g.\tfrac{1}{2}=\tfrac{1}{2}g\times(\tfrac{1}{2})^2, \text{ কারণ } gT=u$$

বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তু স্থির অবস্থা হইতে প্রথম আধ সেকেণ্ডে যে পথ অতিক্রম করে তাহার মান $=\frac{1}{2}g\times(\frac{1}{2})^2$।

অতএব $h-h'$ এই দূরত্বের সমান।

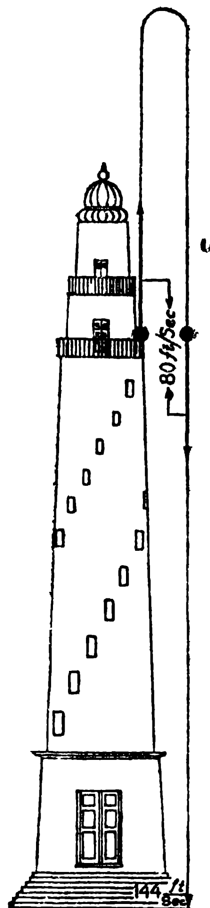
(4) একটি মিনারের কোন স্থান হইতে একটি ঢিল 80 ft/sec বেগে খাড়াভাবে উপরে ছোড়া হইল। ভূমি স্পর্শ করিবার সময় ঢিলটির বেগ 144ft/sec। ভূমি হইতে উৎক্ষেপ-স্থানের উচ্চতা কত?

প্রশ্নে বর্ণিত অবস্থা 2·12 চিত্রে দেখান হইয়াছে। ঢিলটি ঊর্ধ্বতম অবস্থানে উঠিয়া পতনের মুখে উৎক্ষেপ বিন্দু অতিক্রম করিবার সময় তাহার বেগ উৎক্ষেপ-বেগের সমান কিন্তু বিপরীত-মুখী। অতএব পতনের সময়ে এই স্থানে ঢিলটির বেগ নিম্নাভিমুখে 80 ft/sec। ভূমি স্পর্শ করার সময় বেগ 144 ft/sec। এই দুই স্থানের মধ্যে দূরত্ব h হইলে $v^2-u^2=2gh$ সমীকরণ অনুসারে

$$144^2-80^2=2\times32h$$

$$\therefore\ h=22\cdot4\text{ft.}$$

উহাই মিনারের উৎক্ষেপ-বিন্দুর উচ্চতা।



চিত্র 2·12

(5) উপরের প্রশ্নে ঢিলটি কতক্ষণ বায়ুতে থাকে বাহির কর। ঊর্ধ্বতম অবস্থান পর্যন্ত উঠিতে অতিক্রান্ত সময়

$$=\frac{u}{g}=\frac{80}{32}=2\cdot5 \text{ sec ।}$$

সে স্থান হইতে পড়িতে গিয়া 144 ft/sec বেগ পাইতে অতিক্রান্ত সময় $=\frac{144}{32}$ $=4\cdot5$ sec।

$\therefore$ ঢিলটি $2\cdot5+4\cdot5=7$ sec সময় বায়ুতে থাকে।

(6) উৎক্ষেপের 6 sec পরে ঢিলটি ভূমি হইতে কত উপরে? এই সময় ঊর্ধ্বতম অবস্থানে পৌঁছিবার মুহূর্তের $6-2\cdot5=3\cdot5$ sec পর। অতএব স্থির অবস্থা হইতে পড়িলে $3\cdot5$ sec হইতে $4\cdot5$ sec অবকাশে বস্তুটি যে দূরত্ব যাইত তাহাই ঐ সময়ে ভূমি হইতে ঢিলটির দূরত্ব। উত্তর 128 ft.

2-13. অভিকর্ষজ ত্বরণের পরিবর্তন ঃ

কোন স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান ভূকেন্দ্র হইতে ঐ স্থানের দূরত্বের উপর নির্ভর করে। ভূকেন্দ্র হইতে ভূ-পৃষ্ঠের উপর অবস্থিত কোন বস্তুর দূরত্ব সব জায়গায় সমান নয়। এই দূরত্ব নিরক্ষ (Equator) অঞ্চলে সব চেয়ে বেশী এবং উত্তর ও দক্ষিণ মেরুতে সবচেয়ে কম। অতএব নিরক্ষ অঞ্চলে gর মান কম এবং মেরু অঞ্চলে উহা বেশী হইবে। এই দুই স্থানের মাঝামাঝি অঞ্চলে অক্ষাংশ (Latitude) যত বাড়িতে থাকে (অর্থাৎ আমরা যত মেরুর দিকে অগ্রসর হই) দূরত্ব ততই কমে। অতএব অক্ষাংশ বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে gর মানও বাড়িতে থাকে এবং অক্ষাংশ কমিলে gর মানও কমে।

ভূনিম্নে gর মান ক্রমশঃ কমিতে থাকে; ভূকেন্দ্রে $g=0$। ভূপৃষ্ঠ হইতে ঊর্ধ্বে উঠিতে থাকিলেও gর মান কমে। এক্ষেত্রে উহা ভূকেন্দ্র হইতে দূরত্বের বর্গের ব্যস্ত আনুপাতিক।

অভিকর্ষজ ত্বরণের মান—স্মরণ রাখিতে হইবে যে ভূপৃষ্ঠের বিভিন্ন অঞ্চলে gর মানের প্রভেদ অত্যন্ত কম এবং মোটামুটিভাবে ইহাকে নিত্য বলিয়া ধরা যায়। খুব সূক্ষ্ম হিসাবের প্রয়োজন না থাকিলে

সি-জি-এস্ পদ্ধতিতে $g=980$ cm/sec^2 এবং

এফ্-পি-এস্ পদ্ধতিতে $g=32$ ft/sec^2

ধরা যাইতে পারে। মেরুতে $g=983\cdot2$ cm/sec^2 বা $32\cdot26$ ft/sec^2, এবং নিরক্ষরেখায় $g=978\cdot0$ cm/sec^2 বা $32\cdot08$ ft/sec^2। কলিকাতায় gর মান $978\cdot8$ cm/sec^2 বা $32\cdot11$ ft/sec^2।

Exercises

1. Distinguish between (a) speed and velocity, (b) average and instantaneous velocities, (c) velocity and acceleration, (d) acceleration and retardation.

Why does the term 'per second' occur twice in an expression for acceleration ?

2. Write down the fundamental equations for uniformly accelerated motion and explain the notations you use. Derive from them any other relations that you can.

3 State the laws of falling bodies. Show from the laws that all freely falling bodies move with the same constant acceleration.

Describe Newton's Guinea and Feather experiment. What does it prove ?

4. Explain what is meant by the term *acceleration due to gravity* Write down the equations of vertical projection and show that the time of ascent is equal to the time of descent.

5. A car speeds up from 10 mi/hr to 40 mi/hr in 10 seconds. Find its acceleration in ft/sec^2. If it is brought to rest from the latter speed in 4 seconds, what is the deceleration (*i e.*, retardation) ?

[*Solution* : Increase of velocity in 10 secs = 30 mi/hr = 44 ft/sec

$$\therefore \text{ Acceleration} = \frac{44 \text{ ft/sec}}{10 \text{ sec}} = 4{\cdot}4\text{ft/sec}^2.$$

$$\text{Deceleration} = \frac{40 \text{ mi/hr}}{4 \text{ sec}} = \frac{{}^{176}/_3 \text{ ft/sec}}{4 \text{ sec}} = 14\ {}^2/_3 \text{ ft/sec}^2.\ ]$$

6. An automobile with good brakes can decelerate at 22 ft/sec^2. A driver driving the car at 30 mi/hr sees danger ahead of him and decides to stop. Between the moment he takes decision and the application of the brakes a time called the *reaction time* elapses. If the reaction time is $\frac{1}{4}$ sec, how far does the car move before it stops, the distance being measured from the moment the decision is taken ?

[*SOLUTION* : Between decision to stop and the application of the brakes he moves for $\frac{1}{4}$ sec at 30 mi/hr, *i.e.*, 44 ft/sec. In this time he moves 44 ft/sec × $\frac{1}{4}$ = 11 ft.

To bring the car to a stop its velocity has to be reduced from 44 ft/sec to zero. Since the deceleration is 22 ft/sec^2, the time required

$$\text{to stop the car after application of brakes} = \frac{44 \text{ ft/sec}}{22 \text{ ft/sec}^2} = 2 \text{ sec.}$$

The distance which the car travels in this time is given by $S = ut - \frac{1}{2}ft^2$. As f is negative, the distance

$s = 44\,\dfrac{\text{ft}}{\text{sec}} \times 2\ \text{sec} - \frac{1}{2} \times 22\,\dfrac{\text{ft}}{\text{sec}^2} \times (2\ \text{sec})^2 = 44\ \text{ft.}$

$\therefore$ total distance $= 11 + 44 = 55$ ft.]

7. An aeroplane touches the ground at a speed of 60 mi/hr and comes to rest after travelling a distance of 352 ft. Find its deceleration and the time required to come to a stop.

(*Hint* : Here $u = 60$ mi/hr $= 88$ ft sec., $v = 0$, $s = 352$ ft. To find the deceleration apply relation $v^2 = u^2 + 2fs$. *Ans* : $f = 11$ ft/sec^2. Time $= 8$ sec.)

8. An elevator accelerates upwards from rest at 3 ft/sec^2 until it reaches the speed 720 ft/min. It is then brought to a stop with a retardation of 5 ft/sec^2. How far did the elevator rise during the run? How long did this run take?

[*Hint* : It requires 4 sec to reach a speed of 720 ft/min or 12 ft/sec. Calculate the distance traversed in this time. From that speed it requires 2·4 sec to come to stop. Calculate the distance again. Total distance = 24 ft + 14·4 ft. Total time 6·4 sec.)

9. The muzzle speed of a bullet from a rifle barrel 2 ft long is 1200 ft/sec. Find the acceleration, assuming that it is uniform, and the time to traverse the barrel.

[*Ans.* : 36×10^4 ft/sec^2, $\frac{1}{300}$ sec]

10. A stone is dropped from rest and in 4·5 sec acquires a speed of 44·1 metres per second. Calculate (*i*) the acceleration and (*ii*) the distance covered. [*Ans.* (*i*) 980 cm / sec^2 ; (*ii*) 99·2 metres.]

11. How long does it take a body to fall 36 ft? What is the final velocity? [*Ans* : 1·5 sec, ; 48 ft/sec.]

12. A ball is thrown vertically upwards with a speed of 40 ft/sec. To what maximum height will it rise? What time will it take to rise? [*Ans.* : 25 ft ; 1·25 sec.]

13. An object is thrown vertically upwards with a velocity of 120 ft/sec. In what direction will it be moving and how far will it be from the starting point at the end of 6·5 sec? [*Ans.* : Downwards ; 104 ft.]

14. When a body is projected vertically upward show that its speeds at ascent and at descent at a given height are the same.

Also show that it takes the same time to rise as to fall.

15. Calculate the distance covered by a body projected vertically upward with a velocity of 100 ft/sec in the last $\frac{1}{2}$ second of its upward flight. Show that the value does not depend on the velocity of projection.

[*Ans.* : 4 ft.]

16. A stone is dropped from a tower 120 ft. high. Simultaneously

another stone is projected vertically upward with a speed of 100 ft/sec. from the base of the tower. When and where will they meet ?

[*Ans.* : After 2 sec ; at a height 96·96 ft.]

[*Hint* : Problems of this kind are easily solved by remembering that the relative velocity of the two bodies is not changed by their motion as both are subject to the same acceleration. Find the distance between the two bodies when the second body starts moving and also the relative velocity between them. Find when this distance will be made up.)

17. A stone is thrown vertically upward with a speed of 78 ft/sec *relative to and from* a balloon 320 ft. above the ground. The balloon is rising at the rate of 50 ft/sec. When will the stone strike the ground and with what velocity ? [*Ans* : 10 seconds after projection ; 192 ft/sec].

18. A coach is detached from a train travelling uniformly at 60 miles per hour when the train is one mile from a station. If the coach is uniformly retarded so as to stop at the station, where is the train at the moment that the coach stops ? [*Ans.* : One mile past the station]

19. If we call the upward direction positive, what sign should be given to the velocity and acceleration of a ball (a) just after it is thrown vertically upward, (b) at the highest point of its path, (c) when it is falling ?

20. From a balloon which is ascending at the rate of 32 ft/sec ; a stone is dropped and reaches the ground in 16 0 sec. How high was the balloon when the stone was dropped ? [*Ans.* : 3584 ft]

21. A stone is dropped from a high altitude and 3·00 sec later another is projected downward with a speed of 150 ft / sec. When and where will the second overtake the first ? [*Ans.* : 5·67 sec. ; 514 ; ft.]

22. A bullet is shot vertically upward with a speed of 320 ft/sec., and. 4 0 sec. later a second bullet is shot upward with a speed of 190 ft/sec. Will they ever meet ? If so, where ? [See Hint to Q. 16]

23. An elevator is ascending with an acceleration of 4·0 ft/sec^2. At the instant its upward speed is 8 0 ft/sec a bolt drops from the top of the cage 9·0 ft from the floor. Find the time until the bolt strikes the floor and the distance it has fallen. [*Ans* : 0·71 sec., ; 2·3 ft]

24. A stone is dropped from the top of a tower 256 ft. high, and at the same time another stone is thrown vertically upward from the foot of the tower with a velocity of 128 ft. per sec. When and where will the two bodies cross each other ? ($g = 32$ ft/sec^2) [*Ans* : After 2 sec ; at a height of 192 ft].

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

নিউটনের সূত্র

3-1. নিউটনের গতিবিষয়ক সূত্র (Newton's Laws of Motion)—এতক্ষণ পর্যন্ত আমরা গতি সম্বন্ধে যে সকল কথা বলিয়াছি তাহাতে গতি কিরূপে সৃষ্ট হয় অর্থাৎ কি কারণে একটি স্থির বস্তু চলিতে সুরু করে, কি করিয়া গতির পরিবর্তন করা যায়, স্থির বস্তুতে কি করিয়া ত্বরণের সঞ্চার হয়, এই সকল প্রশ্নের আলোচনা করি নাই। এখন আমরা এই সকল বিষয় আলোচনা করিব।

একটি বস্তুকে হাত দিয়া ধাক্কা দিলে উহা চলিতে সুরু করে। এরূপ ক্ষেত্রে আমরা বলি যে বল (Force) প্রয়োগ করাতে স্থির বস্তু সচল হইয়াছে। বলের সঠিক সংজ্ঞা কি হইবে? একটি চাকা মসৃণ সমতল ভূমির উপর দিয়া সমবেগে গড়াইয়া যাইতেছে। উহার উপর কি কোন বল ক্রিয়া করিতেছে? যদি না করে তবে উহা চলিতেছে কিরূপে? কতখানি বল প্রয়োগে কিরূপ গতি সঞ্চারিত হইবে, তাহাই বা কিভাবে ঠিক করা যাইবে? এইরূপ নানা প্রশ্নের সমাধানের জন্য নিউটন তিনটি সূত্র বা নিয়ম বাহির করেন। **এই সূত্র তিনটি সমগ্র গতিবিদ্যার (Kinetics) মূলস্বরূপ।** ইহারা নিউটনের গতিবিষয়ক সূত্র নামে পরিচিত।

3-2. গতির প্রথম সূত্র: বাহির হইতে প্রযুক্ত বলে অবস্থার পরিবর্তন করিতে বাধ্য না হইলে, অচল বস্তু অচল অবস্থায়ই থাকিবে এবং সচল বস্তু সমবেগে সরলরেখা ধরিয়া চলিবে।

উপরিউক্ত সূত্রটিকে আমরা দুইভাগে ভাগ করিতে পারি। প্রথম অংশে পদার্থের একটি মৌলিক ধর্মের কথা বলা হইয়াছে। যে বস্তু স্থির আছে তাহা আপনা হইতে সচল হইতে পারে না; আবার যাহা সচল তাহা আপনা হইতে থামিতে পারে না। সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, পদার্থ তাহার নিজের স্থিতি বা গতি সম্বন্ধীয় অবস্থা বজায় রাখে অর্থাৎ **আপনা হইতেই অচল বা সচল অবস্থার পরিবর্তন করিবার ক্ষমতা কোন পদার্থের নাই। পদার্থের**

এই ধর্মের নাম জড়তা (**Inertia**)। এই হেতু প্রথম সূত্রকে অনেক সময়ে **জড়তার সূত্র** (**Law of inertia**) বলা হয়।

বল : সূত্রের দ্বিতীয় অংশে বলের সংজ্ঞা নির্দেশ করা হইয়াছে। বল তাহাকেই বলিব যাহা পদার্থের জড় অবস্থার পরিবর্তন, অর্থাৎ স্থির পদার্থকে সচল বা সচল পদার্থের বেগ পরিবর্তন করিতে পারিবে।

বলের উপরিউক্ত সংজ্ঞায় কিছু ত্রুটি আছে। যাহা কোন পদার্থের জড় অবস্থার পরিবর্তন সাধন করিবে তাহাকেই অবশ্য বল বলিব; কিন্তু জড় অবস্থার পরিবর্তন সাধন করিতেছে না এরূপ বলের অস্তিত্বও কল্পনা করা যায়। উদাহরণ স্বরূপ ধরা যাউক যে এক ব্যক্তি খুব ভারী কোন বস্তুকে ধাক্কা দিতেছে, কিন্তু বস্তুটি স্থিরই আছে, চলিতেছে না। এক্ষেত্রে বস্তুর জড় অবস্থার পরিবর্তন হইতেছে না অথচ উহার উপর বল প্রযুক্ত আছে। বল প্রয়োগ করা সত্ত্বেও বস্তুটি নানা কারণে না চলিতে পারে। হয়ত উহা দৃঢ়ভাবে মাটির সহিত আবদ্ধ, অথবা ঘর্ষণজনিত বাধার জন্য উহা চলিতে পারে না। ঘর্ষণ কমাইয়া দিলে অথবা প্রযুক্ত বল বাড়াইয়া ঘর্ষণের বাধা অতিক্রম করিতে পারিলেই বস্তুটি চলিতে থাকিবে। তাহা হইলে আমরা বুঝিতে পারিতেছি যে প্রযুক্ত বল বস্তুটির জড় অবস্থার পরিবর্তন ঘটাইতে না পারিলেও ঘটাইবার প্রয়াস পাইতেছে। সুতরাং আমরা বলের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দিতে পারি : **যাহা বস্তুর জড় অবস্থার পরিবর্তন ঘটায় বা ঘটাইতে প্রয়াস পায়, তাহাই বল** (**Force**)।

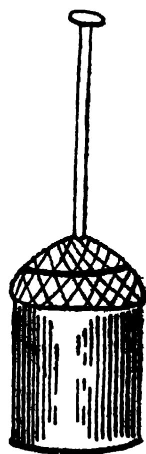
জড়তার সূত্রে বলা হইয়াছে স্থির বস্তু স্থিরই থাকিবে আর সচল বস্তু সমবেগে চলিতে থাকিবে। প্রথমটির সত্যতা সম্বন্ধে কোন প্রশ্ন উঠে না। কিন্তু দ্বিতীয়টির সত্যতা সাধারণ অভিজ্ঞতার বাহিরে। কোন সচল বস্তুই ত' চিরকাল সচল থাকে না; শেষ পর্যন্ত থামিয়া যায়। ইহা সাধারণ অভিজ্ঞতা। তাহা হইলে দ্বিতীয়টির সত্যতা কিরূপে স্বীকার করা যায়?

মনে রাখিতে হইবে যে জড়তার সূত্র তখনই খাটে যখন বাহিরের কোন বল বস্তুর উপর ক্রিয়া করে না। কিন্তু কোন বস্তুকে সর্বপ্রকার বল হইতে বিমুক্ত করা কার্যত সম্ভব নয়। পৃথিবীস্থ সকল বস্তুর উপরেই মাধ্যাকর্ষণ ক্রিয়া করে। ইহা ছাড়া যে কোন বস্তু চলিতে গিয়া ঘর্ষণজনিত বাধা পায়। বিরুদ্ধ বলের প্রভাব হইতে সম্পূর্ণ মুক্ত করা যায় না বলিয়াই সচল

বস্তু অনন্তকাল সচল থাকিবে ইহা পরীক্ষা করিয়া দেখান যায় না। ঘর্ষণ আমরা যত কমাইতে পারিব বস্তু তত বেশীক্ষণ সচল থাকিবে। বরফের উপর ঘর্ষণ খুব কম। লোহার একটি গোলক যদি সমতল বরফের উপর গড়াইয়া দেওয়া যায় তবে তাহা বহুক্ষণ চলিতে থাকিবে। কিন্তু মাটির উপর গড়াইয়া দিলে উহা তাড়াতাড়ি থামিয়া যাইবে। ইহা হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি যে ঘর্ষণ যদি সম্পূর্ণরূপে দূর করা যায় এবং অন্য বলও যদি ক্রিয়া না করে, তবে সচল বস্তু সত্যই অনন্তকাল সচল থাকিবে।

পদার্থ স্থির বা সচল থাকিলে জড়তার ফলাফল কিরূপে প্রকাশ পায় তাহার কয়েকটি উদাহরণ আমরা নীচে দিলাম।

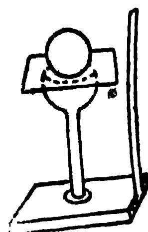
(ক) **স্থিতি-জড়তা (Inertia of rest)—স্থির পদার্থ স্থির থাকিতে চাহে, পদার্থের এই ধর্মকে স্থিতি-জড়তা বলে।** গাড়ী যখন হঠাৎ চলিতে সুরু করে, তখন আরোহীরা পিছন দিকে ধাক্কা খায়। ইহা স্থিতি-জড়তার একটি প্রকৃষ্ট উদাহরণ। গাড়ীটি যখন স্থির, আরোহীরা তখন স্থির। গাড়ী হঠাৎ চলিতে সুরু করিলে আরোহীর পা গাড়ীর সংস্পর্শে থাকায়, পা তৎক্ষণাৎ আগাইয়া যায়। কিন্তু তাহার শরীরের উপরাংশ স্থিতি-জড়তার প্রভাবে নিজেকে স্থির রাখিবারই চেষ্টা করে। পা আগাইয়া যাইবার ও মাথা পিছনে থাকিবার ফলে আরোহী পিছন দিকে ধাক্কা খায়, এমন কি পড়িয়া যাইতেও পারে।


চিত্র 3·1

সহরাঞ্চলের রাস্তায় অনেক সময় একটি খেলা দেখা যায়। পেন্সিলের মত মোটা, কাঠের বা বাঁশের কাঠির একটি মাথা মসৃণ করিয়া কাটা ; অন্য মাথা কাপড় জড়াইয়া মোটা করা। এই মোটা অংশটি একটি কৌটার মুখে আটকাইয়া (3·1 চিত্র) কাঠিটিকে খাড়া রাখা হয়। কাঠির মাথায় একটি আনি রাখিয়া, অন্য একটি কাঠির সাহায্যে প্রথম কাঠিতে আঘাত করিয়া আনি-সমেত কাঠিটি কৌটা হইতে ফেলিয়া দিতে দর্শককে বলা হয়। আরও বলা হয় তিনি যদি আনিটি ঐসঙ্গে কৌটার বাহিরে ফেলিতে পারেন, তাহা হইলে পুরস্কার দেওয়া হইবে। কার্যতঃ,

স্থিতি-জড়তার প্রভাবে আনি নিজের স্থান বজায় রাখিতে চায় বলিয়া খাড়াভাবে কৌটার মধ্যেই পড়ে।

উপরি-উক্ত পরীক্ষা নিম্নলিখিতভাবে খানিকটা পরিবর্তিত করা যায়। এক টুকরা শক্ত কাগজের পাত একটি ছোট বাটির উপর রাখিয়া তাহার উপর একটি মার্বেল রাখা হয় (3·2 চিত্র)। স্প্রিং বা অন্য কিছুর সাহায্যে পাতটিতে হঠাৎ আঘাত করিলে উহা ছুটিয়া যায়। কিন্তু স্থিতি-জড়তার প্রভাবে উপরের মার্বেলটি ঠিক বাটির মধ্যেই পড়ে।



চিত্র 3 2

(খ) **গতি-জড়তা (Inertia of motion) — সচল পদার্থ সরল রেখায় সমবেগে চলিতে চাহে, পদার্থের এই ধর্মকে গতি-জড়তা বলে।**

চলন্ত গাড়ী হঠাৎ থামিলে আরোহীরা সম্মুখের দিকে ঝুঁকিয়া পড়ে। ইহার কারণ গতি-জড়তা। গাড়ী যখন চলিতেছে আরোহীর সমস্ত শরীরও সেই সঙ্গে চলন্ত অবস্থায় রহিয়াছে। গাড়ী হঠাৎ থামিয়া গেলে, পা গাড়ীর সংস্পর্শে থাকায় তৎক্ষণাৎ থামিয়া যায়। কিন্তু গতি-জড়তার প্রভাবে শরীরের উপরাংশ তাহার চলন্ত অবস্থা বজায় রাখিতে চেষ্টা করে। ফলে শরীর সম্মুখের দিকে আগাইয়া যায় এবং আরোহী ঝুঁকিয়া পড়ে। আবার চলন্ত বাস বা ট্রাম হইতে নামিবার সময় সাবধান না হইলে সামনের দিকে পড়িয়া যাইবার আশঙ্কা থাকে। ইহারও কারণ গতি-জড়তা। পা মাটিতে লাগার সঙ্গে সঙ্গে স্থির হইয়া যায়, কিন্তু শরীরের উপরাংশ গতি-জড়তার জন্য আগাইয়া যাইতে চায়। তাহার ফলে পড়িয়া যাইতে হয়, নয়ত দেহের উপরাংশের সহিত সমতালে আগাইয়া যাইতে হয়।

চলন্ত ট্রেণে বসিয়া যদি একটি ঢিল উপরের দিকে ছুঁড়িয়া দেওয়া যায় তবে তাহা আবার হাতের উপরই আসিয়া পড়ে। ইহা গতি-জড়তার জন্যই সম্ভব। ঢিল ট্রেণের সঙ্গে চলিতেছে বলিয়া সেই বেগে সরল রেখায় চলিতে চাহে। সুতরাং ছুঁড়িয়া দিলেও উহা গতি-জড়তার জন্য ট্রেনের সঙ্গে সঙ্গে চলিতে থাকে। গতি-জড়তা না থাকিলে ঢিলটি ছুঁড়িয়া দিবার পর আরোহী দেখিত উহা দ্রুত পিছন দিকে চলিয়া যাইতেছে।

3-3. গতির দ্বিতীয় সূত্র—ভরবেগ (Momentum পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক, এবং বল যে দিকে ক্রিয়া করে ভরবেগের পরিবর্তনও সেই দিকে ঘটে।

Momentum (ভরবেগ)—ভর ও বেগের গুণফলকে momentum (ভরবেগ) বলে। ভর m ও বেগ v হইলে ভরবেগ mv হইবে। যেহেতু বেগ একটি ভেক্টর রাশি, অতএব ভরবেগও একটি ভেক্টর, অর্থাৎ ইহার দিক্ ও মান উভয়ই থাকিবে। ইহার মান mv ও দিক্ vএর দিকের সহিত এক।

প্রথম সূত্রে আমরা বলের সংজ্ঞা পাইয়াছি। দ্বিতীয় সূত্রে বল মাপিবার উপায় বলা হইয়াছে।

গতি সম্বন্ধীয় মূল সমীকরণ : ধরা যাউক, একটি বস্তুর আদিবেগ u ও t অবকাশ পরে অন্তবেগ v; তাহা হইলে t অবকাশে ভরবেগের পরিবর্তন $= mv - mu$।

$$\therefore \text{ ভরবেগের পরিবর্তনের হার} = \frac{(mv - mu)}{t} = \frac{m(v-u)}{t} = mf$$

ভরবেগ ভেক্টর রাশি বলিয়া ভরবেগের পরিবর্তনও ভেক্টর রাশি। 'f' ভেক্টরের দিক্ ভরবেগের পরিবর্তনের দিকের সহিত এক। দ্বিতীয় সূত্রের শেষাংশে বলা হইয়াছে বল যে দিকে ক্রিয়া করে, ভরবেগের পরিবর্তনও সেই দিকে ঘটে।

দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে, P যদি প্রযুক্ত বল হয় তবে

$$P \propto mf$$
$$\therefore P = kmf,$$

k একটি ধ্রুবক (constant)। এই ধ্রুবকের মান বলের এককের উপর নির্ভর করে। একক ভরের উপর প্রযুক্ত হইয়া যে বল একক ত্বরণ সৃষ্টি করিবে, তাহাকে আমরা যদি একক বল বলি, তাহা হইলে উপরি-উক্ত সমীকরণে $P = 1$, $m = 1$, ও $f = 1$

$$\therefore k = 1.$$

সুতরাং উপরি-উক্ত মাত্রার বলকে 'একক বল' ধরিলে লেখা যায়

$$\mathbf{P = mf} \tag{3·1}$$

গতি সম্বন্ধীয় এই মূল সমীকরণ বলের মান নির্দেশ করিবার জন্য ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

সহজেই বুঝা যায় যে P একটি ভেক্টর এবং উহার দিক্ f বা ত্বরণের সহিত এক।

3·1 সমীকরণটি প্রয়োগ করিবার সময় আমাদের **মনে রাখিতে হইবে** যে :

(1) **m ভরবিশিষ্ট বস্তুর উপর P বল ক্রিয়া করিলে বস্তুটি f = P/m এই ত্বরণ লইয়া চলিতে থাকে, অর্থাৎ প্রতি সেকেণ্ডে বস্তুটির বেগ P/m পরিমাণ বাড়ে।**

(2) **বল যতক্ষণ ক্রিয়া করে বেগ ততক্ষণ পর্যন্ত বাড়িতে থাকে।**

(3) **বল যে দিকে ক্রিয়া করে, ত্বরণ বা বেগ-পরিবর্তন সেই দিকে হয়।**

(4) **বলের ক্রিয়া বন্ধ হইয়া গেলে বেগ আর বাড়ে না। বলের ক্রিয়া বন্ধ হইবার সময় বস্তুটি যে অন্তবেগ লাভ করিয়াছিল, বল বন্ধ হইয়া গেলে উহা সেই বেগে সরল রেখায় চলিতে থাকে।**

বলের একক : বলের এককের সংজ্ঞা উপরে দেওয়া হইয়াছে। এই সংজ্ঞা অনুসারে এফ্-পি-এস্ পদ্ধতিতে একক বল তাহাকেই বলা হইবে যাহা এক পাউণ্ড ভরের উপর প্রয়োগ করিলে ত্বরণ হইবে প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে এক ফুট। বলের এই এককের নাম **পাউণ্ডাল** (Poundal)।

যে বল এক গ্র্যাম ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে এক সে-মি ত্বরণের সৃষ্টি করে সি-জি-এস্ পদ্ধতিতে তাহাই একক বল। এই এককের নাম **ডাইন** (Dyne)। ডাইন ও পাউণ্ডালকে বলের **নিরপেক্ষ একক** (Absolute unit) বলে। বলের আরও কয়েকটি একক আছে। তাহাদের কথা পরে যথাস্থানে আলোচিত হইবে।

পাউণ্ডালকে ডাইনে পরিণত করিতে হইলে, মনে রাখিতে হইবে যে $1\ \text{lb} = 453.6\ \text{gm}$ এবং $1\ \text{ft} = 30.48\ \text{cm}$।

$$\therefore\ 1\ \text{Poundal} = 1\ \text{lb} \times 1\ \text{ft/sec}^2 = 453.6\ \text{gm} \times 30.48\ \text{cm/sec}^2$$
$$= 13825.7\ \text{dynes.}$$

অঙ্ক করিতে গিয়া নীচের সম্পর্কগুলি মনে রাখিলে খুব সুবিধা হইবে :

$$\text{বল} = \text{ভর} \times \text{ত্বরণ} \quad \text{বা} \quad \frac{\text{বল}}{\text{ভর}} = \text{ত্বরণ} \qquad (3.2)$$

Dyne = gm × cm/sec² বা Dyne/gm = cm/sec₂ (3·3)

Poundal = lb × ft/sec² বা Poundal/lb = ft/sec² (3·4)

3·4. গতীয় মূলসূত্রের অন্যবিধ আকার—t অবকাশ ব্যাপিয়া P বল যদি m ভরের উপর ক্রিয়া করে, তাহা হইলে $P = mf$ এই সমীকরণের উভয় দিক 't' দিয়া গুণ করিয়া আমরা পাই $Pt = mft$।

আরম্ভে বস্তুটি স্থির অবস্থায় থাকিলে $ft = v$

স্থতরাং $$Pt = mv \qquad (3.5)$$

কিন্তু আরম্ভে u বেগ থাকিলে $ft = v - u$

$$Pt = m(v - u) \qquad (3·6)$$

উভয় ক্ষেত্রে, **বল × বলের ক্রিয়াকাল = ভরবেগের পরিবর্তন**।

বলকে বলের ক্রিয়াকাল দিয়া গুণ করিয়া যে রাশি পাওয়া যায় তাহাকে বলের **Impulse (ঘাত)** বলে। অতএব

Impulse = বলের ঘাত = Momentumএর (ভরবেগের) পরিবর্তন

বল ও গতি সম্বন্ধীয় প্রশ্নের সমাধান করিতে উপরের 3·5 ও 3·6 সমীকরণ-গুলির প্রয়োজন হয়।

খুব অল্প সময়ের জন্য যদি বৃহৎ একটি বল ক্রিয়া করে তবে সেই বলের ক্রিয়ার ফল তাহার ঘাত হইতে সহজে পাওয়া যায়। এত অল্প সময়ে বস্তুটির স্থান পরিবর্তন খুব সামান্য। সেইজন্য উহা আমরা উপেক্ষা করিতে পারি। তাহা হইলে এই প্রকার বলের একমাত্র ফল হইল বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তন করা। ভরবেগের এই পরিবর্তন; অর্থাৎ Impulse, মাপিতে পারিলেই বস্তুটির উপর প্রযুক্ত বলের ফল জানিতে পারা গেল বলা যায়। এইরূপ বলকে **ঘাতবল** (Impulsive force) বলে। ক্যারমের স্ট্রাইকার দিয়া ঘুঁটি আঘাত করা, ফুটবল শট করা অথবা ব্যাট দিয়া ক্রিকেট-বল মারা ঘাতবলের ক্রিয়ার উদাহরণ।

গাণিতিক প্রশ্ন ঃ (1) 20 dyne **একটি বল 5 gm একটি বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইলে বস্তুটির ত্বরণ কত হইবে ? বলটি 5 sec পর আর ক্রিয়া করিল না। তখন বস্তুটির অবস্থা কি হইবে ?**

$$\text{বল কর্তৃক সৃষ্ট ত্বরণ} = \frac{\text{বল}}{\text{ভর}} \quad (\text{3·2 সমীকরণ})$$

$$\therefore\ f = \frac{P}{m} = \frac{20\ \text{dyne}}{5\ \text{gm}} = 4\ \text{cm/sec}^2 \quad (\text{3·3 সমীকরণ})$$

বল 5 sec ক্রিয়া করিয়াছে। অতএব ঐ 5 sec বস্তুটি 4cm/sec^2 এই ত্বরণে চলিয়াছে। 5 সেকেণ্ডে উহার বেগবৃদ্ধি $=5$ sec $\times$ 4cm/sec^2 $=20$ cm/sec।

আরম্ভে বস্তুট যদি স্থির থাকে তবে $u=0$ এবং অন্তবেগ $v=20$ cm/sec।

বলের ক্রিয়া বন্ধ হইলে বস্তুতে আর ত্বরণ থাকিবে না। তখন নিউটনের প্রথম সূত্র অনুসারে বস্তুটি সমবেগে চলিতে থাকিবে। অতএব এক্ষেত্রে 5 সেকেণ্ড পরে বস্তুটি 20 cm/sec এই সমবেগে চলিতে থাকিবে। তখন আর উহাতে 4cm/sec^2 ত্বরণ থাকিবে না।

(2) একটি বল 10 lb ভরের কোন বস্তুর উপর ক্রিয়া করায় 3 সেকেণ্ডে উহা স্থির অবস্থা হইতে 40 ft পথ গেল। বলের মান কত? আরম্ভের 4 সেকেণ্ড পরে বলের ক্রিয়া বন্ধ হইয়া গেলে পরবর্তী 3 সেকেণ্ডে বস্তুটি কতদূর যাইবে?

বস্তুটি তিন সেকেণ্ডে 40 ft গিয়াছে। এক্ষেত্রে দেওয়া আছে $u=0$, $s=40$ ft এবং $t=3$ sec। $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ সমীকরণ হইতে পাওয়া গেল—

$$40=\tfrac{1}{2}f.\ 3^2=\tfrac{9}{2}f.$$

$$\therefore f=8\tfrac{8}{9}\ \text{ft/sec}^2.$$

যেহেতু বল কর্তৃক সৃষ্ট ত্বরণ $=8\frac{8}{9}$ft/sec^2,

$\therefore$ বলের মান $P=mf=10\ \text{lb}\times\frac{80}{9}\ \text{ft/sec}^2$

$$=88\tfrac{8}{9}\ \text{poundals}\ (\text{3·4 সমীকরণ})$$

4 সেকেণ্ডে বস্তুটির অন্তবেগ

$$v=u+ft=\tfrac{80}{9}\times 4=35\tfrac{5}{9}\ \text{ft/sec}$$

বলের ক্রিয়া বন্ধ হওয়ায় বস্তুটি এই সমবেগেই চলিতে থাকিবে। অতএব পরবর্তী 3 সেকেণ্ডে বস্তুটি

$$35\tfrac{5}{9}\ \text{ft/sec}\times 3\ \text{sec}=106\tfrac{2}{3}\text{ft যাইবে।}$$

(3) খেলোয়াড় ফুটবল শট করায় বলটি প্রতি সেকেণ্ডে 60 ft বেগে ছুটিয়া গেল। বলটির ওজন যদি 12 oz হয় এবং বলটি যদি $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড খেলোয়াড়ের পায়ের সংস্পর্শে থাকে তবে খেলোয়াড় কর্তৃক প্রযুক্ত force কত?

3·5 সমীকরণ $Pt=mv$ দেখা যাউক।

$$\text{এক্ষেত্রে } t=\tfrac{1}{10}\ \text{sec},\ m=12\ \text{oz}=\tfrac{3}{4}\ \text{lb},\ v=60\ \text{ft/sec}$$

$$\therefore\ P\times\tfrac{1}{10}\ \text{sec}=\tfrac{3}{4}\ \text{lb}.\ 60\text{ft/sec}.$$

$$\text{বা } P=450\ \text{lb. ft/sec}^2=450\ \text{poundals}.$$

Exercise

1. Find the acceleration produced in a body of mass (*i*) 100 lb when acted on by a force of 250 poundals, (*ii*) 1 kg when acted on by a force of one megadyne (*i.e.* a million dynes).

[*Ans.* (*i*) 2·5 ft/sec^2 ; (*ii*) 1000 cm/sec^2]

2. A pound mass on the surface of the earth is attracted by the earth towards its centre with a force of 32·2 poundals. If the mass were free to move under the action of this force, with what acceleration will it move ?

[*Ans :* 32·2 ft/sec^2]

3. The speed of a locomotive weighing 300 tons increases from 10 mph to 30 mph in 14 secs Find the force acting in poundals.

[*Hint :* Acceleration =

$$\frac{20\,\text{mi/hr}}{14\,\text{sec}} = \frac{\frac{88}{3}\,\text{ft/sec}}{14\ \text{sec}} = \frac{88}{3\times14}\ \text{ft/sec}^2$$

$\therefore$ Force $= 300\times2240$ lb $\times \frac{88}{3\times14}$ ft/sec^2 $= 1{\cdot}408\times10^6$ poundals.]

4. A mass of 200 gm is acted on by a force of 5000 dynes for 5 secs. Calculate the velocity acquired and the distance travarsed, when the body starts from rest. [*Ans :* 125 cm/sec ; 312·5 cm.]

5. A body of mass 25 gm moving with a velocity of 100 cm/sec is opposed by a force of 200 dynes. How long and how far does it travel before it is brought to rest ? [*Ans :* 12·5 sec ; 625 cm.]

6. In the above problem find when the body is at a distance of 400cm from the position where the opposing force was first applied. Explain the two values.

[*Ans* : 5 secs and 20 secs. The body first crosses the position mentioned in 5 secs, comes to rest in 12·5 secs and if the opposing force still continues to act, it retraces its path and comes back to the said position in 20 secs.]

7. A piece of stone weighing 45·36 gm is given a velocity of 60 ft/sec in $\frac{1}{5}$ sec. Find in poundals the average force applied.

[*Hint :* Apply the relation $Pt=mv$; take care of the units. *Ans :* 18 poundals]

8. A locomotive weighing 10 tons speeds up from rest to 30 mph in a distance of 440 ft. Find in poundals the force it applies.

[*Hint :* Find acceleration, and hence the force. *Ans :* 49280 poundals.]

9. A bullet weighing 2 oz and moving with a speed of 1000 ft/sec penetrates 1 inch into a target. Calculate in poundals the opposing force. How long does it require for this penetration ?

[*Ans* : $7{\cdot}5\times10^6$ poundals ; $1{\cdot}67\times10^{-4}$ sec]

10. A cricket ball weighing 5 oz is bowled with a speed of 60 ft/sec, The batsman hits it so that it returns with a speed of 40 ft/sec. If the duration of contact between the bat and the ball is $\frac{1}{2}$ sec, what is the force in poundals exerted on the ball ? [*Ans :* $156\frac{1}{4}$ poundals.]

3-5. গতির তৃতীয় সূত্র—প্রত্যেক ক্রিয়ার (Action-এর) একটি সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া (Reaction) থাকে, অর্থাৎ ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া সমান ও বিপরীত।

যখনই কোন বস্তু অন্য একটি বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করে তখনই উপরি-উক্ত সূত্র অনুসারে দ্বিতীয় বস্তুটিও প্রথমটির উপর একটি সমান ও বিপরীত বল প্রয়োগ করিবে। বস্তু স্থির থাকুক বা সচল হউক, পরস্পর স্পর্শ করিয়া থাকুক বা লোহা ও চুম্বকের ন্যায় দূর হইতে পরস্পরের উপর ক্রিয়া করুক, এই তৃতীয় সূত্র সকল ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। টেবিলের উপর একখানি বই রহিয়াছে। বইএর ওজন থাকায় টেবিলের উপর একটি চাপ পড়িয়াছে। আমরা এক্ষেত্রে বলিতে পারি যে বই টেবিলকে চাপ দিতেছে। বই টেবিলকে যে চাপ দেয় তাহাকে যদি বলি ক্রিয়া, তাহা হইলে টেবিল বইকে যে ঠেলা দিতেছে, তাহা প্রতিক্রিয়া। মনে রাখিতে হইবে যে, **ক্রিয়া যতক্ষণ থাকে, প্রতিক্রিয়াও ততক্ষণই থাকিবে। ক্রিয়া থামিয়া গেলে প্রতিক্রিয়াও থামিয়া যায়।** তা' ছাড়া লক্ষ্য করিতে হইবে যে **ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া দুইটি বিভিন্ন বস্তুর উপর প্রযুক্ত হয়, একই বস্তুর উপরে নহে।** এইজন্য **কেবলমাত্র ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া কখনও সাম্য প্রতিষ্ঠা করিতে পারে না,** কারণ সাম্যপ্রতিষ্ঠার জন্য দুইটি সমান ও বিপরীত বল **একই** বস্তুর উপর প্রযুক্ত হওয়া দরকার।

পূর্বের উদাহরণে বই টেবিলের উপর কেন সাম্য অবস্থায় আছে, তাহার কারণ দেখা যাউক। পৃথিবীর আকর্ষণ বইটিকে নীচের দিকে টানিতেছে এবং টেবিলের উপর বইএর চাপের প্রতিক্রিয়া বইটিকে উপরে ঠেলিতেছে। এই দুই বল সমান ও বিপরীত এবং উভয়ে একই বস্তু 'বই'এর উপর ক্রিয়া করিতেছে বলিয়া বইটি সাম্য অবস্থায় আছে।

তৃতীয় সূত্রের অন্যান্য উদাহরণ ঃ (1) দেওয়ালে একখানা মই হেলান দিয়া রাখিলে মইখানা দেওয়ালের উপর চাপ দিবে। দেওয়ালও সমান বলে মইখানা ঠেলিবে। মইএর ক্রিয়া দেওয়ালটিকে ফেলিয়া দিতে প্রয়াস পায়,—দেওয়াল শক্ত না হইলে সত্য সত্যই ফেলিয়া দিতে পারে। দেওয়ালের প্রতিক্রিয়া মইখানাকে আটকাইয়া রাখে, অর্থাৎ উহাকে পড়িতে দেয় না। ইহা বুঝা শক্ত নহে, কারণ দেওয়াল ওখানে না থাকিলে মই মাধ্যাকর্ষণের ফলে পড়িয়া যাইত।

(2) পৃথিবীর টানে একটি বারিবিন্দু পৃথিবীর উপর আসিয়া পড়িতেছে। নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুসারে বারিবিন্দুটিও সমান জোরে পৃথিবীকে তাহার নিজের দিকে আকর্ষণ করিতেছে। প্রশ্ন হইতে পারে বারিবিন্দু যদি একই জোরে পৃথিবীকে আকর্ষণ করে, তবে পৃথিবীই বা বারিবিন্দুর দিকে ছুটিয়া আসে না কেন? ধরা যাউক বারিবিন্দুর ভর m এবং পৃথিবীর ভর M। পৃথিবী যদি P বলে বারিবিন্দুকে আকর্ষণ করে তবে তৃতীয় সূত্র অনুসারে বারিবিন্দুও P বলে পৃথিবীকে আকর্ষণ করিবে। নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে বারিবিন্দুর ত্বরণ যদি f_1 হয়, তবে

$$mf_1 = P$$

আবাব বারিবিন্দুর আকষণে পৃথিবীর ত্বরণ যদি f_2 হয,

$$\text{তবে } Mf_2 = P = mf_1$$

$$\therefore \quad f_2 = \frac{mf_1}{M}$$

পৃথিবীর ভর $5{\cdot}96 \times 10^{27}$ গ্র্যাম, বারিবিন্দুর ভব এক গ্র্যামও নহে; অর্থাৎ বারিবিন্দুর ভরের তুলনায পৃথিবীর ভর অত্যন্ত বেশী। কাজে কাজেই বাবিবিন্দুব দিকে পৃথিবীর ত্বরণ f_2 পৃথিবীর দিকে বাবিবিন্দুর ত্বরণ f_1 এর তুলনায সম্পূর্ণ উপেক্ষণীয়। এই কাবণেই সমান আকর্ষণ হওয়া সত্ত্বেও বারিবিন্দু পৃথিবীর দিকে ছুটিয়া আসে; পৃথিবী বারিবিন্দুর দিকে ছুটিয়া যায় না।

(3) আর একটি উদাহরণ ধরা যাউক। ঘোড়া যখন গাড়ী টানে তখন এই সূত্র অনুসারে গাড়ীও ঘোড়াকে সমান বলে পিছনের দিকে টানিবে। অবশ্য গাড়ীর আকর্ষণ ঘোড়াকে কার্যত গাড়ীর দিকে টানিযা আনে না, আনিতে প্রয়াস পায় মাত্র। যথার্থ বলিতে গেলে ঘোডা মাটিতে পায়ের সাহায্যে বল প্রয়োগ করিয়া সম্মুখের দিকে যে গতি লাভ করে, গাড়ীর আকর্ষণ তাহাতে বাধা দেয়। ঘোড়া গাডী টানিবাব বল প্রয়োগ করিয়া আছে, কিন্তু চলিতেছে না, এই অবস্থায় হঠাৎ যদি দড়ি কাটিযা দেওযা হয় তাহা হইলে ঘোড়া সম্মুখের দিকে পড়িয়া যাইতে পারে। নিউটনের ভাষায় বলিতে গেলে দড়ির টান একটির (ঘোড়ার) অগ্রগতিতে যতটা বাধা দেয়. অন্যটির (গাড়ীর) অগ্রগতিতে ততটাই সাহায্য করে।

চলন্ত বস্তুর প্রতিক্রিয়া : এতক্ষণ ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়াধীন যে সকল বস্তুর কথা আমরা আলোচনা করিয়াছি তাহারা কার্যত স্থির আছে বলিয়া ধরা হইয়াছে। একটি বস্তু চলন্ত অবস্থায় যদি অন্য একটি বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করে তাহা হইলে প্রতিক্রিয়া কিরূপ হইবে ? প্রথমেই বলা যাইতে পারে যে এখানেও তৃতীয় সূত্রের কোন ব্যতিক্রম হইবে না,—ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া সমান ও বিপরীত থাকিবে। একজন লোক ভারী রোলার টানিবার চেষ্টা করিতেছে—এই উদাহরণ লওয়া যাউক। বল প্রয়োগ করা হইল, কিন্তু রোলার নড়িল না। ইহার কারণ ঘর্ষণ-জনিত বাধা। বল বাড়াইয়া এই বাধা অতিক্রম করা হইল। এইবার রোলার নড়িবে। প্রথম অবস্থায় রোলার নাড়াইবার জন্য অনেকখানি বল প্রয়োজন। পরে রোলার চলিতে সুরু করিলে আর ততটা বল লাগিবে না। ইহার কারণ কি ? রোলার যখন স্থিতি হইতে গতি লাভ করিতেছে তখন উহার ত্বরণ আছে। রোলারের ভর m এবং ত্বরণ f হইলে, ত্বরণ দিবার জন্য mf বল প্রয়োজন। ইহা ছাড়া ঘর্ষণ-জনিত বাধা F ত' আছেই। কাজেই এখন $F+mf$ বল প্রয়োজন। কিছুক্ষণ পরে আর ত্বরণ থাকে না। লোকটি ও রোলার উভয়ে সমবেগে চলিতে থাকে, তখন ঘর্ষণ অতিক্রম করার বল F ছাড়া আর কোন বল দরকার হয় না। প্রশ্ন হইতেছে, লোকটির উপর রোলারের প্রতিক্রিয়া কি ? যতক্ষণ রোলার স্থিতিতে আছে, ততক্ষণ প্রতিক্রিয়া হইল ঘর্ষণ-জনিত বল Fএর সমান। রোলার চলিতে শুরু করার পর যতক্ষণ উহার বেগ বাড়িতে থাকে ততক্ষণ প্রতিক্রিয়া $F+mf$। প্রতিক্রিয়ার mf অংশ কি ভাবে আসিল ? নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে m ভরকে f ত্বরণ দিতে হইলে $m \times f$ বল প্রয়োগ করিতে হইবে। কাজেই লোকটিকে এই বল প্রয়োগ করিতে হইয়াছে। চলন্ত রোলারও লোকটির উপর সমান ও বিপরীত বল অর্থাৎ প্রতিক্রিয়া প্রয়োগ করিতেছে। এই প্রতিক্রিয়াকে **গতিজনিত প্রতিক্রিয়া** (Kinetic reaction) বলা হয়। সংক্ষেপে আমরা বলিতে পারি যে m ভরের কোন বস্তুকে f ত্বরণে চালাইতে mf বলের প্রয়োজন। বস্তুর উপরে এই mf বল যে প্রয়োগ করিবে, বস্তুটিও তাহার উপরে পাল্টা mf প্রতিক্রিয়া প্রয়োগ করিবে। এই প্রতিক্রিয়াই গতি-জনিত (বা গতীয়) প্রতিক্রিয়া।

গতীয় প্রতিক্রিয়ার আর একটি সহজ উদাহরণ দেখা যাইতে পারে। ধরা যাউক স্প্রিং-তুলার কাঁটায় m ভরের একটি বস্তু ঝুলান আছে (3·3 চিত্র)। তুলার সূচক F বল নির্দেশ করিতেছে। এখন যদি তুলাটি হঠাৎ উপরে তোলা যায় তাহা হইলে সূচক সরিয়া গিয়া বেশী বল নির্দেশ করিবে। তুলা একই ভর ধারণ করিয়া আছে, অথচ তুলার উপর বেশী বল প্রযুক্ত হইল কেন? m ভর স্থিতি হইতে গতি লাভ করায় উহার ত্বরণ হইয়াছে। এই ত্বরণ f ধরিলে তুলার স্প্রিংএর মধ্য দিয়া বস্তুটির উপর অবশ্যই mf বল প্রযুক্ত হইয়াছে। বস্তুটি প্রতিক্রিয়া হিসাবে একই mf বল তুলার উপরে প্রয়োগ করিবে। ফলে সূচক সরিয়া গিয়া বর্ধিত বল নির্দেশ করিবে। ত্বরণ থামিলেই এই প্রতিক্রিয়াজনিত বল আর থাকিবে না এবং সূচক পূর্বের স্থিতি অবস্থার বল নির্দেশ করিবে।



F+mf



চিত্র 3·3

3-6. Principle of Conservation of Momentum (ভরবেগের নিত্যতাসম্বন্ধীয় সূত্র)—নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রের $P=mf$ সমীকরণ হইতে আমরা পাই যে ভরবেগের পরিবর্তনের হার = বলের মান। তাহা হইলে একটি বস্তু A অন্য একটি বস্তু Bর উপরে বল প্রয়োগ করিলে Aর ক্রিয়ায় Bর ভরবেগ পরিবর্তনের হার ও Bর প্রতিক্রিয়ায় Aর ভরবেগ পরিবর্তনের হার সমান ও বিপরীতমুখী হইবে। Aর ভরবেগ যে হারে বাড়িবে Bর ভরবেগ সেই হারে কমিবে। ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার কার্যকাল সমান, কারণ একের অবর্তমানে অন্যটি থাকে না। কাজে কাজেই ক্রিয়ার জন্য ভরবেগের মোট পরিবর্তন প্রতিক্রিয়াজনিত মোট পরিবর্তনের সমান। উপরন্তু উহারা বিপরীতমুখী। অতএব A ও B বস্তু দুইটির পূর্বে মোট যে ভরবেগ ছিল, পরেও তাহাই থাকিবে। অর্থাৎ ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার ফলে ভরবেগের যোগফলের কোন পরিবর্তন হইবে না। ভরবেগ এক বস্তু হইতে অন্যটিতে সঞ্চালিত হইবে মাত্র। সুতরাং আমরা বলিতে পারি যে:

একাধিক বস্তুর মধ্যে ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া বর্তমান থাকিলে এই ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার ফলে উহাদের মোট momentumএর কোন

পরিবর্তন হয় না। এই উক্তিকেই **Principle of conservation of momentum** (**ভরবেগের নিত্যতাসম্বন্ধীয় সূত্র**) বলা হয়।

উদাহরণ ঃ 3 পাউণ্ড ভরের একটি গোলক সেকেণ্ডে 2 ফুট বেগে যাইতেছে এবং 1 পাউণ্ড ভরের একটি গোলক বিপরীত দিক্ হইতে সেকেণ্ডে 10 ফুট বেগে আসিতেছে। পরস্পরের সহিত সংঘর্ষ হইয়া ছোটটি বড়টির সহিত মিশিয়া গেলে উহাদের মিলিত বেগ কত এবং কোন্ দিকে হইবে ?

সংঘর্ষের পূর্বে ছোট গোলকটির ভরবেগ $= 1 \times 10 = 10$lb. ft/sec

" " বড় " " $= 3 \times (-2) = 6$lb. ft/sec

" " মোট ভরবেগ $= 10 - 6 = 4$lb. ft./sec

সংঘর্ষের পর ছোট ও বড় গোলকের মিলিত ভর $= (1+3) = 4$lb. এবং v যদি উহাদের একত্র অবস্থার বেগ হয়, ভরবেগ $= v \times 4$lb। ভরবেগের নিত্যতা অনুসারে

$v \times 4$lb $= 4$lb. ft/sec সুতরাং $v = 1$ ft/sec

আদিতে ছোট গোলকটির যে বেগ তাহা আমরা পজিটিভ (ধনাত্মক) ধরিয়াছি। vও পজিটিভ হইয়াছে। কাজে কাজেই আদিতে ছোট গোলকটির বেগ যে দিকে, মিশিয়া যাইবার পর উভয়ের যুক্ত বেগও সেই দিকে।

কামান ও গোলা ঃ আর একটি উদাহরণ দেখা যাউক। কামান হইতে যখন গোলা ছোঁড়া হয় তখন গোলা নিজের গতির দিকে ভরবেগ লাভ করে। গোলা ছোঁড়ার পূর্বে কামান এবং গোলা উভয়ে স্থিতিতে ছিল, এবং উহাদের মিলিত ভরবেগ ছিল শূন্য। ভরবেগের নিত্যতা সূত্র অনুসারে উহাদের মোট ভরবেগের পরিবর্তন হইবে না। অর্থাৎ গোলা ছুঁড়িবার পূর্বে ভরবেগ যাহা ছিল, পরেও তাহাই থাকিবে। অতএব কামানটি গোলার ভরবেগের সমান ও বিপরীত ভরবেগ পাইবে—অর্থাৎ উহা সমান ভরবেগে পিছনে হটিয়া আসিবে। তাহা হইলেই কামান ও গোলার মিলিত ভরবেগ পূর্বের ন্যায় এখনও শূন্য থাকিবে।

উদাহরণ ঃ 400 পাউণ্ড ওজনের কামান হইতে 6 পাউণ্ড ওজনের একটি গোলা ছোঁড়া হইল। গোলার বেগ 1000 ft/sec হইলে কামানটি কত বেগে পিছনে হটিবে বাহির কর।

গোলা ছোঁড়ার পূর্বে কামান ও গোলার মিলিত ভরবেগ শূন্য ছিল। গোলা ছোঁড়ার পর ঃ গোলার ভরবেগ $= 6$lb $\times 1000$ ft/sec $= 6000$ lb. ft/sec

গোলার বিপরীত দিকে কামানের বেগ যদি V হয় তবে উহার ভরবেগ

$= V \times 400$ lb.

$V \times 400$lb $= 6000$ lb. ft/sec.

$\therefore \quad V = 15$ ft/sec.

3·7. Effects of force (বলের বিবিধ ক্রিয়া)—বল কিরূপে গতির পরিবর্তন ঘটাইতে পারে, তাহা আমরা ইতিপূর্বে আলোচনা করিয়াছি। এক বল অন্য বলের বাধা লঙ্ঘন করিতে পারে। মেঝেতে একটি টেবিল রহিয়াছে। যে কোন বল প্রয়োগ করিলেই উহা সরিবে, তাহা নহে। প্রযুক্ত বল যতক্ষণ ঘর্ষণজনিত বলকে অতিক্রম না করিবে, ততক্ষণ টেবিল সরিবে না। কোন বস্তু তুলিতে হইলেও যতক্ষণ প্রযুক্ত বল বস্তুর ভার অপেক্ষা বেশী না হয়, ততক্ষণ উহা তোলা যায় না। ঘর্ষণ ও পৃথিবীর আকর্ষণ জনিত বাধা বল প্রয়োগে অতিক্রম করা যায়।

একাধিক বলের সমবেত ক্রিয়ায় বস্তু চলিতে পারে বা স্থির থাকিতেও পারে। যখন চলিতে থাকে তখন উহার ত্বরণ বলগুলির লব্ধির (Resultant) সমানুপাতিক ও উহার স্বকীয় ভরের বিষমানুপাতিক হয়। স্থির থাকিলে উহা বলগুলির পীড়নে আকারে বিকৃত হয়। বিকৃতির পরিমাণ সামান্য বলিয়া আমরা অধিকাংশ সময়েই তাহা টের পাই না। মুঠার ভিতরে একটি রবারের বল চাপিয়া রাখিলে স্থির অবস্থায় বলের ক্রিয়ায় উহার বিকৃতি টের পাওয়া যায়। এই প্রকার বিকৃতির আলোচনা পরবর্তী এক অধ্যায়ে (স্থিতিস্থাপকতা) করা হইয়াছে।

3-8. Mass and Weight (ভর ও ভার)—**ভর বলিতে আমরা কোন বস্তুতে মোট যে পরিমাণ পদার্থ আছে তাহাই বুঝি।** ভার বা ওজন কি ? কোন বস্তু হাতে লইলে অভিকর্ষের প্রভাবে হাতের উপর একটি নিম্নাভিমুখী বল অনুভূত হয়। এই বলকেই আমরা ভার বা ওজন বলিয়া থাকি। অর্থাৎ **পৃথিবী যে বলে কোন বস্তুকে নিজের কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে তাহাই ঐ বস্তুর ভার বা ওজন।** অভিকর্ষজ ত্বরণ g এবং ভার W হইলে

$$W = mg \qquad (3{\cdot}7)$$

বস্তুর ভার বা ওজন উহার ভরের সমানুপাতিক, অর্থাৎ একটি বেশী হইলে অন্যটিও সেই অনুপাতে বেশী হইবে। কিন্তু উভয়ে এক নহে। ভর বলিতে পদার্থের পরিমাণ বুঝায় আর ভার বলিতে পৃথিবীর আকর্ষণজনিত বল বুঝায়। পৃথিবীর আকর্ষণ না থাকিলে ভার থাকিবে না, কিন্তু ভর থাকিবেই। স্থান-বিভেদে পৃথিবীর আকর্ষণ বাড়ে কমে; কাজেই ভার বা ওজনেরও পরিবর্তন হইয়া থাকে। কিন্তু কোন বস্তুর ভর উহার অপরিবর্তনীয় নিজস্ব সম্পদ। ভূকেন্দ্রে

$g=0$ হওয়ায় সেখানে কোন বস্তুর ভার বা ওজন থাকে না। কিন্তু তাহা সত্ত্বেও সেখানে বস্তুর ভরের কোন পরিবর্তন হয় না। ভূকেন্দ্রেও বস্তুর উপর P বল প্রয়োগ করিলে উহাতে P/m ত্বরণ সৃষ্টি হয়। ভর বস্তুর নিজস্ব একটি গুণ, ভার তাহা নহে। ভূপৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে g যেমন বাড়ে কমে, কোন বস্তুর ভারও তেমনই বিভিন্ন হয়, কিন্তু উহার ভর সর্বত্র একই থাকে। পৃথিবী হইতে কোন বস্তুকে চাঁদে লইয়া গেলে চাঁদের আকর্ষণ কম হওয়ায় (তজ্জনিত gও কম হইবে) বস্তুর ভার কমিয়া যাইবে। কিন্তু বস্তুটির ভর পৃথিবীতে যাহা, চাঁদেও তাহাই।

3-9. স্থানবিভেদে ওজনের পরিবর্তন—পূর্বলিখিত 3·7 সমীকরণ অনুসারে বস্তুর ওজন $W=mg$। gর মান পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে দূরত্বের উপর নির্ভর করে বলিয়া বস্তুর ওজনও এই দূরত্বের সহিত বদলাইবে। এজন্য ভূপৃষ্ঠ হইতে ঊর্ধ্বে কিংবা নিরক্ষ অঞ্চল হইতে মেরুর দিকে গেলে বস্তুর ওজন কমে। যে কারণে gর মানের হ্রাসবৃদ্ধি হয় সেই কারণে বস্তুর ওজনও বদলায়। কি কি অবস্থায় g বাড়ে কমে তাহা §2-13 এ আলোচিত হইয়াছে। উহা হইতে জানা যাইবে যে

(ক) কোন বস্তুকে নিরক্ষ অঞ্চল হইতে উত্তর বা দক্ষিণ মেরুর দিকে লইয়া যাইতে থাকিলে ওজন বাড়িতে থাকিবে ;

(খ) ভূপৃষ্ঠ হইতে ঊর্ধ্বে ওজন কমিবে ;

(গ) ভূনিম্নে ওজন কমিবে এবং পৃথিবীর কেন্দ্রে বস্তুর ওজন থাকিবে না।

3-10. Gravitational Unit of Force (বলের অভিকর্ষীয় একক)—আমরা পূর্ব অধ্যায়ে বলের একক নির্দেশ করিয়াছি। উহা বল দ্বারা উৎপন্ন ত্বরণের সাহায্যে নির্ণীত হইয়াছে। এখানে আমরা অভিকর্ষ অর্থাৎ পৃথিবীর আকর্ষণ দ্বারা নির্ণীত বলের একরূপ এককের কথা বলিব। **একক ভরের (Unit Mass) বস্তুকে পৃথিবী যে বলে আকর্ষণ করে তাহাই বলের অভিকর্ষীয় একক (Gravitational Unit of Force)**, অর্থাৎ একক ভরের ওজনই একক বল। এফ-পি-এস্ পদ্ধতিতে এই একক **এক পাউণ্ড-ভার** (1 lb.-wt) অর্থাৎ এক পাউণ্ড ভরের ওজন। g-র মান 32 ft/sec² ধরিলে

$$(1 \text{ lb.wt}) = 1 \text{ lb.} \times 32 \text{ ft/sec}^2 = 32 \text{ poundals.}$$

অনুরূপে সি-জি-এস্ পদ্ধতিতে এই একক এক **গ্র্যাম-ভার (1gm-wt)** বা এক গ্র্যাম ভরের ওজন। $g=981$ cm/sec^2 ধরিলে

$$1 \text{ gm. wt} = 1\text{gm} \times 981 \text{ cm/sec}^2 = 981 \text{ dynes}$$

এই দুইটি সমীকরণের সাহায্যে আমরা বলের এক একককে অন্য এককে পরিবর্তিত করিতে পারি। পাউণ্ড-ভারকে পাউণ্ডালে লইতে হইলে g দ্বারা গুণ করিতে হইবে এবং পাউণ্ডালকে পাউণ্ড-ভারে লইতে হইলে g দ্বারা ভাগ করিতে হইবে। গ্র্যাম-ভার ও ডাইনে অনুরূপ সম্পর্ক।

কখন কখন বলের মান বুঝাইতে আমরা 'এক টন বল' (Force of one ton) বা 'এক পাউণ্ড বল' এই কথা ব্যবহার করি। ইহার অর্থ এই যে এক টন ভর বা এক পাউণ্ড ভর যে বলে পৃথিবীর দিকে আকৃষ্ট হয় ঐ বল তাহার সমান; অর্থাৎ আমরা লিখিতে পারি,

এক টন বল = এক টন-ভার (1 ton-wt) = 2240 পাউণ্ড-ভার = 2240 × g poundals।

অনুরূপে এক কিলোগ্র্যাম বল বা কিলোগ্র্যাম-ভর (1 kg. wt.) বলিতে আমরা এক কিলোগ্র্যাম ভর যে বলে পৃথিবী দ্বারা আকৃষ্ট হয় তাহাই বুঝি;

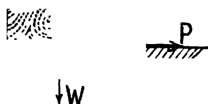
অর্থাৎ এক কিলোগ্র্যাম-ভার (1 kg. wt) = 1000 গ্র্যাম-ভার

= 1000 × g dynes।

সহজেই বুঝা যাইবে যে পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে gর মান সমান না হওয়ায় অভিকর্ষীয় এককের মানও সমান হইবে না; অর্থাৎ এক পাউণ্ডাল বলিতে যেমন একটি নির্দিষ্ট বল বুঝায় এক পাউণ্ড-ভার বলিতে সেরূপ বুঝাইবে না। বিষুব রেখায় এক পাউণ্ড-ভার 32·08 পাউণ্ডালের সমান। আবার মেরুতে এক পাউণ্ড-ভার 32·26 পাউণ্ডালের সমান। সেইজন্য সঠিক হিসাব করিতে হইলে পাউণ্ড-ভারের সংজ্ঞায় gর মান সমুদ্রপৃষ্ঠে 45° অক্ষাংশে উহার মানের সমান ধরা হয়। কিন্তু দৈনন্দিন ব্যবহারে এই সূক্ষ্ম প্রভেদ সাধারণত উপেক্ষা করা হয়।

পূর্বে §3-3তে বলের একক হিসাবে ডাইন বা পাউণ্ডাল উল্লেখ করা হইয়াছিল। এখন অভিকর্ষীয় এককের অবতারণা করা হইল। স্থানভেদে প্রথম দুইটির মানের কোন ব্যতিক্রম হয় না, কিন্তু অভিকর্ষীয় এককের হয়। সেইজন্য প্রথম দুইটিকে **বলের নিরপেক্ষ একক (Absolute Unit of Force)** বলা হয়।

3-11. Friction (**ঘর্ষণ**)—মনে কর অনুভূমিক মেঝের উপর একখানা ইট রহিয়াছে। দুইটি সমান এবং বিপরীতমুখী vertical বলের ক্রিয়ায় উহা সাম্যে আছে। একটি উহার ওজন W এবং অপরটি মেঝের প্রতিক্রিয়া (চিত্র 3·4)। $R=W$।



চিত্র 3·4

ইটখানা সরাইবার জন্য অনুভূমে (horizontally) উহাতে অল্পমানের একটি বল P প্রয়োগ কর। উহা সরিবে না। বল প্রয়োগেও ইট সরিল না কেন? নিশ্চয়ই Pর সমান এবং বিপরীত আর একটি বল F ইটের উপরে ক্রিয়া করিতেছে। F কে আমরা Force of friction (ঘর্ষণজনিত বল) বলি।

Pর ক্রিয়ায় ইট সরিতে চাহিলে সঙ্গে সঙ্গে Fও ক্রিয়া করে এবং উহাকে সরিতে দেয় না। Pর মান ক্রমশ বাড়াইতে থাকিলে Fএর মান একই ভাবে বাড়ে। কিন্তু Fএর মানের একটা সীমা আছে। ইহাকে Limiting friction বা static friction বলে। Fর মান এই সীমা ছাড়াইলে বস্তুটি চলিতে সুরু করে। একবার চলিতে সুরু করিলে উহাকে সমবেগে চালাইয়া লইবার জন্য ততটা বলের প্রয়োজন হয় না। বস্তুটি সমবেগে চলিতে থাকিলে Fএর যে মান তাহাকে Kinetic friction বলে। ইহার মান Limiting friction অপেক্ষা কিছু কম।

দুইটি তল (surface) পরস্পর সংস্পর্শে অবস্থিত থাকিলে উহাদের অভিলম্বে যে বল (Normal reaction) ক্রিয়া করে, পরীক্ষায় দেখা যায় যে Limiting friction বা Kinetic friction ঐ বলের সমানুপাতিক। Kinetic friction ও Normal reaction-এর অনুপাতকে Coefficient of kinetic friction বলে। Limiting বা Static friction ও Normal reaction-এর অনুপাতের নাম Coefficient of static friction। Kinetic coefficient সবসময়ই static coefficient অপেক্ষা ছোট। ইহাদের মান সংস্পর্শে অবস্থিত তলের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে না।

Friction সম্বন্ধীয় কয়েকটি পরীক্ষালভ্য তথ্য নীচে বলা হইল এগুলিকে Laws of friction বলে।

(*i*) ঘর্ষণজনিত বলের মান শূন্য হইতে একটা ঊর্ধ্ব সীমা পর্যন্ত বাড়িতে পারে। বস্তুটিকে স্থির রাখিতে যতটুকু বলের প্রয়োজন, গতি সুরু হইবার পূর্ব পর্যন্ত ঠিক ততটুকু বলই ক্রিয়া করে।

(*ii*) গতি বা গতির প্রয়াস যে দিকে এই বল সর্বদাই তাহার বিপরীতে ক্রিয়া করে।

(*iii*) Limiting friction Normal reaction-এর সমানুপাতিক ; কিন্তু সংস্পর্শে অবস্থিত দুইতলের ক্ষেত্রফলের উপর উহা নির্ভর করে না। Coefficient of friction-এর মান তল দুইটির প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

(*iv*) Kinetic friction Normal reaction-এর সমানুপাতিক। এই অনুপাতের মান তলের ক্ষেত্রফলের উপর বা দুই তলের আপেক্ষিক গতির উপর নির্ভর করে না।

দুইটি তলের মধ্যে ঘর্ষণজনিত বল ক্রিয়া করিবার প্রধান কারণ উহাদের অসমতলতা (unevenness)। তল যতই মসৃণ করা যাউক না কেন, উহা সম্পূর্ণ সমতল হয় না। খুব সামান্য হইলেও কিছু উঁচুনীচু থাকিয়া যায়। তা ছাড়া, নিবিড় সংস্পর্শে অবস্থিত স্থানগুলিতে একের অণুগুলি অন্যের অণুগুলিকে আকর্ষণ করে। এই সকল কারণেই ঘর্ষণজনিত বলের সৃষ্টি হয়।

ঘষড়াইয়া চলিতে (sliding-এ) যে বাধা তাহার তুলনায় গড়াইয়া চলিতে (rolling-এ) বাধা অনেক কম। গড়াইয়া চলিবার সময় চাকা সামান্য হইলেও একটু বসিয়া যায়। ফলে চলিবার সময় উহাকে একটু উপরের দিকে উঠিতে হয়। ইহাই Rolling friction-এর কারণ।

ঘর্ষণজনিত বাধা আমাদের বহু অসুবিধার সৃষ্টি করে সত্য। কিন্তু ইহা না থাকিলেও আমাদের চলে না। হাঁটা, গাড়ী চালানো, গাড়ী থামানো, বেল্টের সাহায্যে যন্ত্রপাতি ঘুরানো ইত্যাদি নিত্য প্রয়োজনীয় কাজ friction না থাকিলে সম্ভব হইত না। আবার উহার জন্যই যন্ত্রপাতির ক্ষয় এবং শক্তির অপচয় হয়।

Lubrication. শক্তির অপচয় এবং যন্ত্রপাতির ক্ষয় বাঁচাইবার জন্য আমরা যন্ত্রে lubricant ব্যবহার করি। অধিকাংশ lubricant তৈল জাতীয় পদার্থ।

পরস্পর সংস্পর্শে অবস্থিত তল দুইটির ফাঁকে প্রবেশ করিয়া ইহা দুইটি তলকে পৃথক করিয়া রাখে এবং তাহাতে উভয়ের মধ্যে ঘর্ষণজনিত বলের মান খুবই কমিয়া যায়। মসৃণ দুই খণ্ড ধাতুর মধ্যে coefficient of friction-এর মান প্রায় 0·2। উপযুক্ত lubricant ব্যবহার করিয়া উহা 0·00 বা তাহা অপেক্ষাও কম করা যায়। খনিজ ও উদ্ভিজ্জ তৈল মিশাইয়া ভাল lubricant পাওয়া যায়। বিশেষ কাজে গ্র্যাফাইটের গুঁড়াও ব্যবহার করা হয়।

অঙ্ক। (1) মেঝের উপর একখানা ইট রহিয়াছে। উহার ওজন 2·5 kg। দুই তলের মধ্যে coefficient of static friction 0·4। ইটখানা সরাইতে কমপক্ষে কত বল লাগিবে?

উত্তর : জানা আছে coefficient of static friction

$$=\frac{\text{Limiting friction}}{\text{Normal reaction}}$$

এক্ষেত্রে Normal reaction = ইটের ওজন = 2·5 kg. wt.

$\therefore$ Limiting friction = $0{\cdot}4 \times 2{\cdot}5$ kg.wt = 1 kg. wt. ইট সরাইতে কম পক্ষে এই বলের প্রয়োজন হইবে।

(2) টেবিলের উপরে 1 kg ওজনের এক টুকরা কাঠ রহিয়াছে। দুই তলের মধ্যে coefficient of kinetic friction $\frac{1}{3}$. কাঠে $\frac{1}{2}$ kg. wt বল অনুভূমে প্রয়োগ করা হইল। উহা কি ত্বরণে চলিবে? ($g = 981$ cm/sec^2)।

উত্তর : ঘর্ষণজনিত বাধা = $\frac{1}{3}$ × Normal reaction = $\frac{1}{3} \times 1$ kg.wt.

অতএব কার্যকরী বল = $\frac{1}{2}$ kg.wt − $\frac{1}{3}$ kg.wt. = $\frac{1}{6} \times 1000 \times 981$ dynes.

$\therefore$ ত্বরণ = বল ÷ ভর = $(\frac{1}{6} \times 1000 \times 981)$ dynes ÷ 1000 gm

$= 163.5$ cm/sec^2.

Exercise

1. Find the acceleration produced in a body of mass

(*i*) 100 lb. when acted on by a force of 250 poundals;

(*ii*) 1 kg when acted on by a force of one megadyne (*i.e.*, a million dynes). [*Ans*: (*i*) 2·5 ft/sec^2; (*ii*) 1000 cm/sec^2.]

2. A pound mass on the surface of the earth is attracted by the earth towards its centre with a force of 32·2 poundals. If the mass were free to move under the action of the force, with what acceleration will it move? [*Ans*: 32·2 ft/sec^2.]

3. The speed of a locomotive weighing 300 tons changes from 10 mph to 40 mph in 14 secs. Find the force acting in poundals.

Solution $\text{Acceleration} = \frac{30 \text{ mi/hr}}{14 \text{ sec}} = \frac{44 \text{ ft/sec}}{14 \text{ sec}} = \frac{22}{7} \text{ ft/sec}^2.$

$\therefore$ Force $= 300 \times 2240 \text{ lb} \times \frac{22}{7} \text{ ft/sec}^2 = 2 \cdot 112 \times 10^6$ poundals.]

4. A mass of 200 gm is acted on by a force of 5000 dynes for 5 seconds. Calculate the velocity acquired and the distance traversed when the body starts from rest. [*Ans.* : 12·5 cm/sec ; 312·5 cm.]

5. A body of mass 25 gm moving with a velocity of 100 cm/sec is opposed by a force of 200 dynes. How long and how far does it travel before it is brought to rest ? [*Ans.* : 12·5 sec ; 625 cm.]

6. In the above problem find when the body is at a distance of 400 cm. from the position where the oppossing force was first applied. Explain the two values.

[*Ans.* : 5 sec and 20 sec. The body first crosses the position mentioned in 5 sec , comes to rest in 12·5 sec and if the opposing force still continues to act, it retraces its path and comes back to the said position in 20 sec.]

7. A piece of stone weighing 45·36 gm is projected with a velocity of 60 ft/sec acquired in $\frac{1}{3}$ sec. Find in poundals the average force applied.

[*Hint* : Apply the relation $Pt = mv$, take care of the units.

Ans : 18 poundals.]

8. A locomotive weighing 10 tons speeds up from rest to 30 mph in a distance of 440 ft. Find in poundals the force it applies.

[*Hint* : Find acceleration and hence the force.

Ans : 49280 poundals.]

9. A bullet weighing 2 oz. and moving with a speed of 1000 ft/sec penetrates 1 inch into a target. Calculate in poundals the opposing force. How long does it require for the penetration ?

[*Ans* : 75×10^5 poundals ; $0 \cdot 167 \times 10^{-3}$ sec.]

10. A cricket ball weighing 5 oz is bowled with a speed of 60 ft/sec. The batsman hits it so that it returns with a speed of 40 ft/sec to the bowler. If the duration of contact between the bat and the ball is $\frac{1}{4}$ sec. what is the force in poundals exerted on the ball ?

[*Ans* : 125 poundals.]

11. A bullet weighing 0·1 lb. is shot horizontally from a pistol mounted 4 ft. above level ground and touches the ground 100 ft. from the gun. Calculate :

(*a*) The time the bullet was in the air.

(*b*) The horizontal speed of the bullet.

(*c*) The average acceleration in the gun barrel (length 6 in).

(*d*) The average force on the bullet while in the barrel.

[*Ans.* : (*a*) $\frac{1}{2}$ sec ; (*b*) 200 ft/sec ; (*c*) 40,000 ft/soc^2 ; (*d*) 4000 pdl.]

12. A cricketer skies a ball of mass $5\frac{1}{2}$ oz. to a height of 81 ft. It is caught by the wicket keeper, who draws his hands down while making the catch so that the ball is stopped in 0·1 second, his hands finishing close to the ground. Calculate the average force exerted by the ball.

[*Ans* : 247·5 pdl.]

13. State the principle of coservation of momentum, Explain what you understand by an isolated system.

14. A one-ton gun fires a shell of 28 lb. with a speed of 800 ft/sec. The gun recoils and is brought to rest within a distance of 5 ft. Find in poundals the force resisting the recoil.

[*Ans* : 22400 poundals.]

15. Answer the following :—

(*a*) Why does a loded coal truck start more slowly than an empty truck ?

(*b*) A motor car, starting from rest, increases its speed uniformly until it reaches a speed of 30 m.p.h. After a time it is brought to rest again. Is the force required to stop the car necessarily equal to the force that brought it up to the stated speed ? Explain :

(*c*) Which is greater, the attraction of the earth for a pound of lead, or the attraction of the pound of lead for the earth ?

(*d*) Why is one less likely to be injured when jumping from an elevation if he lands in sand rather than upon a stone pavement ?

(*e*) If acting and reacting forces are "equal and opposite", why can they never balance or cancel ?

(*f*) In view of Newton's third law of motion, state wtat you mean by an 'unbalanced force'.

(*g*) In view of Newton's third law of motion, explain how a body can be set in motion.

16. A rifle bullet, of mass 10 gm. acquires a speed of 400 m/sec in tarversing a barrel 50 cm long. Find the average acceleration and the accelerating force.

[*Ans* : $1{\cdot}6\times10^7$ cm/sec^2 ; $1{\cdot}6\times10^8$ dynes.]

17. A motor car weighing 3200 lb. is being towed along level road by a rope that withstand a pull of 1000 lb. If the tow-rope is parallel to the road bed, what is the greatest acceleration that can be imparted to

the car assuming that it requires a force of 200 lb, to overcome frictional resistance ? [*Ans.* : 8 ft./sec^2.]

18. A light frictionless pulley carries a light cord to which is attached at one end a 48-lb. weight and at the other end a 64-lb. weight. The weights are suddenly released. Find the acceleration and tension in the cord. [*Ans.* : 4·6 ft./sec^2; 55 lb.]

19. A boy weighing 120 lb. stands in an elevator. What force does the floor exert on him when the elevator is (*a*) stationary, (*b*) accelerating upward at 16·0 ft./sec^2, (*c*) moving upward at constant speed, (*d*) moving upward but decelerating at 12·0 ft./sec.^{2} ?

[*Ans* : (*a*) 120 lb ; (*b*) 180 lb ; (*c*) 120 lb. ; (*d*) 75 lb.]

20. A spring balance fastened to the roof of a moving elevator indicates 75 lb. as the weight of a 100-lb. body. (*a*) What is the acceleration of the elevator ? (Give direction as well as magnitude.) (*b*) How can one determine from such data the direction in which the elevator is moving ? (*c*) When will the balance indicate a zero weight ?

21. An elevator, weighing 8 tons, is descending with a speed of 900 ft./min. If the load on the cables must not exceed 14 tons, what is the shortest distance in which the elevator can be stopped ? [*Ans.* 4·7 ft.]

22. A 100 ton car is moving with a speed of 40 m.p.h. A constant force of 1-ton opposes its motion. Find (*a*) the time required to bring the car to rest, (*b*) the distance it will travel in stopping.

[*Ans.* 183⅓ sec. ; $5 \cdot 38 \times 10^3$ ft.]

23. What pull must a locomotive exert on a 5000-ton train in order to attain a speed of 20 m.p.h. in 6·0 min ? Assume uniform acceleration and consider 25% of the force applied is used in overcoming friction.

[*Ans.* 17 ton-wt. nearly.]

24. Define force and momentum. State Newton's laws of motion, and illustrate the first and third laws only, giving two examples of each.

(C. U. '52)

25. State Newton's laws of motion and give illustrations to explain these laws. An automobile of mass 3500-lb. moving with a uniform velocity of 60 m.p.h., is to be stopped in 1 second by the application of a uniform retarding force. What should be the magnitude of this force ?

(C. U. '56) [*Ans.* $3 \cdot 08 \times 10^5$ pdl.]

26. State Newton's laws of motion. Show how the first law gives a definition and the second law a measure of force. (C. U. '58)

27. Define momentum and impulse. State and illustrate by examples the principle of conservation of momentum. A 10-gram bullet is fired from a kilogram gun suspended to move freely. This bullet now

enters a block of wood of mass 990 gm. If the speed of the bullet is 500 m/sec. find the speed of recoil of the gun and the velocity imparted to the block. (Gau. Univ. '57) [*Ans.* Both 5m/sec.]

28. State Newton's laws of motion. Explain the conception of force as derived from them, A train of mass 100-tons is moving on a horizontal plane with a uniform velocity of 30 m.p.h. Calculate the force required to stop it at a distance of 44 ft. (Utkal Univ. '55)

[*Ans.* 4.958×10^6 poundals.]

29. What is meant by 'acceleration due to gravity' ? A body A rests on an aeroplane B. State and explain the condition in which the action and reaction between A and B will be :

(*i*) equal to the weight of A ;

(*ii*) greater than the weight of A ;

(*iii*) less than the weight of A ;

(*iv*) zero.

Find the magnitude of the reaction in each case.

(*Hint.* See Ex. 5, § 3-13.) (Utkal Univ. '56)

30. State and explain Newton's laws of motion and show how the unit of force is derived on the basis of the second law. The mass of a gun together with its carriage is 5-tons. It fires a 50 lb. shot with a velocity of 1000 ft./sec. What is the velocity of recoil of the gun ? (Utkal Univ. '57) [*Ans.* 4·46 ft./sec.]

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

কার্য, ক্ষমতা ও শক্তি

(Work, Power and Energy)

4-1. Work (কার্য)—সাধারণভাবে কাজ করা বলিতে আমরা নানা অর্থ বুঝিয়া থাকি। কিন্তু বলবিদ্যায় কার্য কথাটি একটি বিশেষ অর্থে ব্যবহৃত হয়। কোন বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করিলে **বলের প্রয়োগবিন্দু যদি বলের ক্রিয়া-মুখে সরিয়া যায় তাহা হইলে আমরা বলি বল কার্য করিয়াছে।** বলের প্রয়োগবিন্দু যতক্ষণ স্থির আছে ততক্ষণ কোন কার্য হইতেছে না। কেহ যদি একখণ্ড ভারী পাথর বহুক্ষণ ধরিয়া ঠেলে কিন্তু পাথর বরাবর স্থিরই থাকে, তাহা হইলে কার্যের উপরোক্ত সংজ্ঞা অনুসারে লোকটি কোনও কার্য করিল না। **যখন কোন বলের ক্রিয়ামুখের বিপরীত দিকে কোন বস্তু সরান হয় তখন আমরা বলি বলের বিরুদ্ধে কার্য হইয়াছে।** কোন ভারী বস্তুকে পৃথিবীর আকর্ষণের বিরুদ্ধে উপরে তুলিতে হইলে, যে তুলিবে তাহাকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হইবে। গাড়ী টানিবার সময় ঘোড়া ঘর্ষণের বিরুদ্ধে কার্য করে। এরোপ্লেন বায়ুতে চলিতে গিয়া বায়ুর বাধার বিরুদ্ধে কার্য করে।

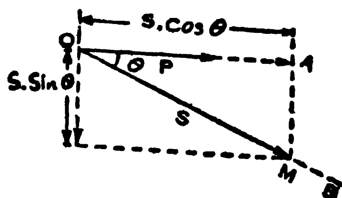
কার্যের মান—কোন বল কর্তৃক বা তাহার বিরুদ্ধে যে কার্য হয় তাহা ঐ **বলের মান ও বলের ক্রিয়ামুখে বলের প্রয়োগবিন্দুর সরণের পরিমাণ এই দুইয়ের গুণফল** দ্বারা মাপা হয়। বলের মান P হইলে এবং সরণ s হইলে

$$\text{কার্য } W = Ps$$

একাধিক বল একসঙ্গে ক্রিয়া করিলে প্রয়োগবিন্দু আলোচ্য কোন বিশেষ বলের ক্রিয়ামুখে না সরিতে পারে। 4·1 চিত্রে ধরা যাউক P বল O বিন্দুতে OA অভিমুখে ক্রিয়া করিতেছে। অন্য বল ক্রিয়া করিতে থাকায় O বিন্দু OA অভিমুখে না সরিয়া OB অভিমুখে M পর্যন্ত গেল। এখানে P কতটা কার্য করিল ?

$\angle AOB = \theta$, ও সরণ $OM = s$ ধরা যাউক। সরণ ভেক্টর রাশি বলিয়া

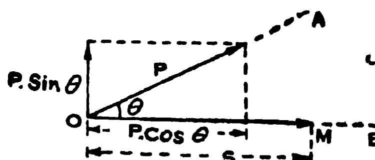
s সরণকে Pর ক্রিয়ামুখে ও তাহার লম্বদিকে $s \cos\theta$ ও $s \sin\theta$ (4·1 চিত্র) এই দুই উপাংশে ভাগ করা যায়। Pর ক্রিয়ামুখে $s \cos\theta$ সরণ হইয়াছে বলিয়া কার্যের সংজ্ঞা অনুসারে কৃত কার্য $= Ps \cos\theta$। অন্য সরণ Pর লম্বভাবে বলিয়া এক্ষেত্রে কৃত কার্যের পরিমাণ শূন্য। সুতরাং কার্য



চিত্র 4·1

$$W = Ps \cos\theta \qquad (4·2)$$

বিকল্পে, Pকে OB ও তাহার লম্বের দিকে বিভক্ত করিলে (4·2 চিত্র) উপাংশ দুইটির মান যথাক্রমে $P \cos\theta$ ও $P \sin\theta$। Pর পরিবর্তে এই বল দুইটিই আছে বলিয়া আমরা ধরিতে পারি। $P \cos\theta$ উপাংশের ক্রিয়ামুখে সরণ হইয়াছে s, অতএব এই উপাংশ দ্বারা কৃত কার্য $= s \times P \cos\theta$। $P \sin\theta$ উপাংশের অভিমুখে সরণ শূন্য (কারণ সরণ ইহার লম্বদিকে)। অতএব এই উপাংশের কৃত কার্য শূন্য। সুতরাং P বল দ্বারা কৃত মোট কার্য $W = Ps \cos\theta$.



চিত্র 4 2

মনে রাখিতে হইবে 4·2 সমীকরণে $\theta =$ বলের ক্রিয়ামুখ ও সরণের মধ্যবর্তী কোণ। $\theta = 90°$ হইলে $\cos\theta = 0$ এবং $W = 0$; অর্থাৎ প্রয়োগবিন্দু ক্রিয়ামুখের লম্বের দিকে সরিলে বল কোন কার্য করে না। $\theta = 180°$ হইলে $\cos\theta = -1$, এবং $W = -Ps$। এক্ষেত্রে প্রয়োগবিন্দু ক্রিয়ামুখের বিপরীত দিকে সরে। অবশ্য এরূপ সরণ অন্য বলের ক্রিয়া ভিন্ন হইবে না। এ ক্ষেত্রে আলোচ্য বল Pর **বিরুদ্ধে** কার্য হয়। নিগেটিভ চিহ্ন তাহাই প্রকাশ করে।

কার্যের উদাহরণ—কার্যের উদাহরণ স্বরূপ ধরা যাউক কোন বস্তু উপর হইতে ছাড়িয়া দেওয়ার ফলে পৃথিবীর আকর্ষণে নীচে পড়িতেছে। এক্ষেত্রে বস্তুটির সরণ উহার উপর ক্রিয়াশীল অভিকর্ষের অভিমুখে। বস্তুর ভর m,

অভিকর্ষজ ত্বরণ g ও উল্লম্বভাবে অতিক্রান্ত পথ h হইলে, বলের মান mg ও সরণ h। সুতরাং অভিকর্ষ দ্বারা কৃত কার্য $W = mgh$। বস্তুটিকে কেহ যদি পৃথিবীর আকর্ষণের বিরুদ্ধে খানিকটা উপরের দিকে তুলিত তাহা হইলে কার্য হইত অভিকর্ষের বিরুদ্ধে। বস্তুটিকে যে তুলিয়াছে সে হইত এই কার্যের কর্তা। m ভরের বস্তুকে h পথ উপরে তুলিলে এই কার্যের মান $W = mgh$।

4-2. কার্যের বিভিন্ন একক—(1) **নিরপেক্ষ একক** (**Absolute Unit**)—এক পাউণ্ডাল বল প্রয়োগে প্রয়োগবিন্দু বলের ক্রিয়ামুখে একফুট সরিলে যে কার্য হয় তাহাই এফ্-পি-এস্ পদ্ধতিতে কার্যের একক। ইহার নাম **ফুট-পাউণ্ডাল** (**1 ft-poundal**)।

এক ডাইন বল প্রয়োগে প্রয়োগবিন্দু বলের ক্রিয়ামুখে এক সেন্টিমিটার [সরি]লে যে কার্য হয় তাহাকে এক **আর্গ** (**1 erg**) বলে। আর্গ সি-জি-এস্ পদ্ধতিতে কার্যের একক।

মনে রাখিতে হইবে যে 1 ft × 1 poundal = 1 ft-poundal এবং 1 dyne × 1 cm = 1 erg।

(2) **অভিকর্ষীয় একক** (**Gravitational Unit**)—যদি পাউণ্ড-ভার ও গ্র্যাম ভারকে বলের একক বলিয়া গ্রহণ করা যায় তবে আমরা কার্যের অভিকর্ষীয় একক (Gravitational unit of work) পাই। এক পাউণ্ড-ভারকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে এক ফুট তুলিতে যে কার্য করিতে হয়, তাহার নাম এক **ফুট-পাউণ্ড** (1 ft. lb)। যেহেতু 1 lb. wt = 32·2 poundals, অতএব 1 ft. lb = 32·2 poundals × 1 ft = 32·2 ft. poundals।

অনুরূপে এক গ্র্যাম ভারকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে এক সেন্টিমিটার তুলিলে এক **গ্র্যাম-সেন্টিমিটার** (1 gm. cm) কার্য হয়। যেহেতু 1 gm. wt = 980 dynes, অতএব 1 gm. cm = 1 gm. wt × 1 cm = 980 dynes × 1 cm = 980 ergs।

(3) **ব্যবহারিক একক : জুল** (**Joule**)—সি-জি-এস্ পদ্ধতিতে কার্যের নিরপেক্ষ একক আর্গ। ইহা খুব ছোট বলিয়া সুবিধার জন্য ইহা অপেক্ষা অনেক

বড় মাপের একটি ব্যবহারিক একক (practical unit) স্থির হইয়াছে। এই এককের নাম **জুল (Joule)** এবং

$$1 \text{ joule} = 10^7 \text{ ergs}$$

সি-জি-এস্ ও এফ্-পি-এস্ পদ্ধতির এককের মধ্যে সম্বন্ধ নিম্নলিখিতরূপ :

$$1 \text{ ft. lb} = 32{\cdot}2 \text{ ft. poundals} = 1{\cdot}35 \text{ joules}$$ ।

4-3. (Power (ক্ষমতা)—মনে কর কুয়া হইতে জল তুলিয়া একটি বড় পাত্রে ভরিতে হইবে। জল তুলিতে অভিকর্ষেব বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়। যাহার ক্ষমতা বেশী সে দুর্বল লোক অপেক্ষা অল্প সময়ে কাজটি শেষ করিতে পাবিবে। অর্থাৎ বেশী ক্ষমতাশালী একজন লোক অল্প সময়ে একটি নির্দিষ্ট কার্য করিতে পারে। যে কম ক্ষমতাশালী তাহার সেই একই কার্য করিতে বেশী সময় লাগে। প্রথমের কার্য করার হার বেশী, দ্বিতীয়ের কার্য করার হার কম।

মনে কর কেহ একতলা হইতে দোতলায় উঠিতেছে। এখানেও অভিকর্ষের বিরুদ্ধে তাহাকে কার্য করিতে হইতেছে। আস্তে আস্তে উঠিলে কোন ক্লান্তি বোধ হয় না। কিন্তু খুব তাড়াতাড়ি উঠিলে হাঁপাইয়া পড়িতে হয ; অর্থাৎ কার্য করিবার হার বাড়াইয়া দিলে অধিক ক্লান্তি বোধ হয়।

একখানি ট্রেন ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে চলিয়াছে। সমান ওজনের আর একখানি ট্রেন ঘণ্টায় 50 মাইল বেগে চলিতেছে। এক ঘণ্টায় উভয়ের মধ্যে কে বেশী কার্য করিবে? ঘর্ষণ ও বাতাসের বাধা উভয়ের পক্ষে সমান হইলে উভয়কে সমান বিরুদ্ধতা অতিক্রম করিতে হইতেছে, অতএব অধিকদূর যাওয়ার জন্য দ্বিতীয় ট্রেনখানি বেশী কার্য করিবে। আমরা বলিতে পারি যে প্রথম ট্রেনটি যে হারে কার্য করিতেছে দ্বিতীয়টি তাহা অপেক্ষা অধিক হারে কার্য করিতেছে।

কার্য করিবার (Power) হারকে ক্ষমতা বলে এবং প্রতি একক সময়ে যতটুকু কার্য নিষ্পন্ন হয় উহা দ্বারাই ক্ষমতার পরিমাপ করা হয়।

সি-জি-এস্ পদ্ধতিতে ক্ষমতার নিরপেক্ষ একক হইল সেকেণ্ডে এক আর্গ কার্যের হার এবং ব্যবহারিক একক হইল সেকেণ্ডে এক জুল। **সেকেণ্ডে এক জুল কার্যের হারকে (Watt) ওয়াট বলে।** হাজার ওয়াটে এক **কিলো-**

ওয়াট (1 Kilo-watt) হয়, অর্থাৎ সেকেণ্ডে এক হাজার জুলের কার্যের হারকে এক কিলো-ওয়াট বলে।

এফ্-পি-এস্ পদ্ধতিতে ক্ষমতার নিরপেক্ষ একক প্রতি সেকেণ্ডে এক ফুট-পাউণ্ডাল কার্যের হার। **ব্যবহারিক এককের নাম হর্স-পাওয়ার বা অশ্ব-ক্ষমতা (Horse Power)। ইহাতে প্রতি সেকেণ্ডে 550 ফুট-পাউণ্ড বা প্রতি মিনিটে 33,000 ফুট-পাউণ্ডের কার্যের হার বুঝায়।** যদি কোন ব্যক্তি, কিংবা কার্যক্ষম প্রাণী বা যন্ত্র একটি 550 পাউণ্ড ওজনের জিনিসকে অভিকর্ষের টানের বিরুদ্ধে এক সেকেণ্ডে সোজা এক ফুট উপরে তুলিতে পারে তবে তাহার ক্ষমতাকে বলা হইবে এক হর্স-পাওয়ার।

হর্স পাওয়ার ও ওয়াটের সম্বন্ধ—

$$1 \text{ H. P.} = 550 \text{ ft. lb/sec} = \frac{550 \times 1 \text{ ft} \times 1 \text{lb. wt.}}{1 \text{ sec}}$$

$$= 550 \times \frac{30{\cdot}48 \text{ cm} \times 453{\cdot}6 \text{ gm} \times 32{\cdot}2 \times 30{\cdot}48 \text{ cm/sec}^2}{1 \text{ sec}}$$

$$= 550 \times (30{\cdot}48)^2 \times 453{\cdot}6 \times 32{\cdot}2 \text{ erg/sec}$$

[$\because$ gm × cm/sec^2 = dyne, এবং dyne × cm = erg]

$$= \frac{500 \times (30{\cdot}48)^2 \times 453{\cdot}6 \times 32{\cdot}2}{10^7} \text{ joules/sec বা watts}$$

$= 746{\cdot}4$ watts $= {\cdot}7464$ kilowatt (অর্থাৎ প্রায় 3/4 kilowatt)

4·4. Energy (শক্তি)—ভারী একখণ্ড পাথর কিছু উপরে তুলিয়া ছাড়িয়া দেওয়া হইল। উহা পড়িতে পড়িতে বেগ সঞ্চয় করিবে। নীচে একটি লোহার পেরেক খাড়া অবস্থায় এক টুকরা কাঠের উপর দাঁড় করান আছে। ভারী পাথরটি উপর হইতে পেরেকের উপরে পড়ায় পেরেকটি কাঠের বাধা অতিক্রম করিয়া খানিকটা ঢুকিয়া যাইবে। কাঠের বাধা অতিক্রম করিয়া পেরেকটিকে ভিতরে ঢুকাইতে অবশ্যই কার্য করিতে হইয়াছে। কে এই কার্য করিল? সচল পাথরখণ্ড পেরেকের উপরে পড়ায় উহা ভিতরে ঢুকিয়াছে। অতএব আমরা বলিতে পারি যে ঐ সচল পাথরখণ্ডই এই কার্য করিয়াছে। অথচ পাথরটি পেরেকের উপরে স্থিরভাবে রাখিয়া দিলে পেরেকটি কাঠের মধ্যে ঢুকিত না।

দেখা যাইতেছে পাথরখণ্ড সচল হইবার জন্য উহার মধ্যে 'কার্য' করিবার সামর্থ্য আসিয়াছে। পেরেকের উপর পড়ায় উহার এই সামর্থ্য 'কার্যে' পরিণত হইয়াছে।

যে লোক প্রচুর কাজ করিতে পারে, তাহাকে আমরা শক্তিমান বলি অর্থাৎ শক্তি নামক গুণটি তাহার আছে। মানুষের ক্ষেত্রে কাজ দৈহিক বা মানসিক হইতে পারে। কিন্তু বলবিদ্যায় কার্য বলিতে মাত্র বল প্রয়োগে যে কার্য হয় তাহাই বুঝায। যে বস্তুর এই সামর্থ্য আছে, আমরা বলি তাহার শক্তি আছে। **কার্য করিবার সামর্থ্যকে (Capacity for doing work) শক্তি (Energy) বলে। কোন বস্তু বিশেষ অবস্থাধীনে মোট যে পরিমাণ কার্য করিতে পারিবে তাহাই তাহার শক্তির মান।** কাজে কাজেই **শক্তি কার্যের এককেই মাপা হয়।**

ক্ষমতা ও শক্তির পার্থক্য লক্ষণীয। ক্ষমতা বলিলে বুঝাইবে একক সময়ে কতটুকু কার্য নিষ্পন্ন হয। শক্তি নির্দেশ করে মোট কতটুকু কার্য করা সম্ভব, সময় যাহাই লাগুক না কেন।

4·5. শক্তির বিভিন্ন রূপ—শক্তি বিভিন্নরূপে আমাদের সম্মুখে বিরাজ করে। মোটামুটি ভাবে আমরা শক্তির আটটি বিভিন্ন রূপ দেখিতে পাই—(1) যান্ত্রিক শক্তি (Mechanical energy), (2) তাপ শক্তি (Heat energy), (3) আলোক শক্তি (Light energy), (4) শব্দ শক্তি (Sound energy), (5) বৈদ্যুতিক শক্তি (Electrical energy), (6) চৌম্বক শক্তি (Magnetic energy), (7) রাসায়নিক শক্তি (Chemical energy) ও (8) আণবিক শক্তি (Atomic energy)।

আমরা এখানে কেবল যান্ত্রিক শক্তি সম্বন্ধেই বিশদ আলোচনা করিব। যান্ত্রিক শক্তি দুই প্রকার : (1) গতিশক্তি (Kinetic energy) ও (2) স্থিতিশক্তি (Potential energy)।

4·6. Kinetic Energy (গতিশক্তি)—§ 4-4এ আমরা দেখিয়াছি যে সচল বস্তুর কার্য করিবার সামর্থ্য থাকে। **সচল অবস্থায় আছে বলিয়া বস্তুর কার্য করার যে সামর্থ্য, তাহাকে Kinetic energy বলে।** সচল বস্তুকে বল প্রয়োগ করিয়া থামাইতে গেলে থামিয়া যাইবার পূর্বে এই বলের

বিরুদ্ধে বস্তুটি যে কার্য করিবে তাহা দ্বারাই উহার গতিশক্তির মান নির্ণীত হইবে।

মনে করা যাউক একটি বস্তুর ভর m ও উহা V বেগে চলিতেছে। উহাকে থামাইবার জন্য উহার উপর P বল প্রয়োগ করা হইল এবং তাহার ফলে s দূরত্বে গিয়া বস্তুটি থামিয়া গেল। এ ক্ষেত্রে ত্বরণ বেগের বিপরীত দিকে। সুতরাং উহা নিগেটিভ।

অতএব, $P=-mf$, বা $f=-\dfrac{P}{m}$

s দূরত্ব অতিক্রম করিয়া বস্তুটি থামিয়া গিয়াছে। কাজেই উহার অন্তবেগ $=0$। গতিবিষয়ক 2·5 সমীকরণের $(v^2=u^2+2fs)$ আদিবেগ u এক্ষেত্রে V। অন্তবেগ $v=0$, ও ত্বরণ $f=-\dfrac{P}{m}$ ধরিলে উক্ত সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়

$$0=V^2-\frac{2Ps}{m}$$

$$\therefore \quad Ps=\tfrac{1}{2}mV^2$$

দেখা যাইতেছে বস্তুটি থামিবার পূর্বে P বলের বিরুদ্ধে s দূরত্ব অতিক্রম করায় $Ps=\frac{1}{2}mV^2$ কার্য করিতে পারে। কাজে কাজেই আমাদের সংজ্ঞা অনুসারে

$Ps=$ **বস্তুর Kinetic energy বা গতিশক্তি** $=\frac{1}{2}mV^2$ (4.3)

অর্থাৎ **গতিশক্তি $=\frac{1}{2}$ভর $\times$ (বেগ $)^2$**

সহজেই বুঝা যায় যে বস্তুটি থামাইবার জন্য যে বল প্রয়োগ করা হয়, গতিশক্তির মান তাহার উপর নির্ভর করে না। P বড় হইলে s ছোট হইবে ও $P\times s$ সর্বদা $\frac{1}{2}mV^2$ এর সমান হইবে।

উদাহরণ ঃ (1) 1288 পাউণ্ড ভরের একটি বস্তু 32 ft./sec বেগে চলিতেছে। উহার গতিশক্তি ফুট-পাউণ্ডাল ও ফুট-পাউণ্ডে প্রকাশ কর ($g=32·2$ ft./sec²)।

গতিশক্তি $=\frac{1}{2}$ভর $\times$ (বেগ $)^2=\frac{1}{2}\times 1288\times 32\times 32$ ft. poundals

$$=\frac{1}{2}.\frac{1288\times 32\times 32}{32·2}\text{ft lb}=20480\text{ ft. lb}$$

(2) 10 কিলোগ্রাম ভরের একটি বস্তু সেকেণ্ডে 10 মিটার বেগে চলিতেছে। উহার গতিশক্তি আর্গ ও জুলে প্রকাশ কর।

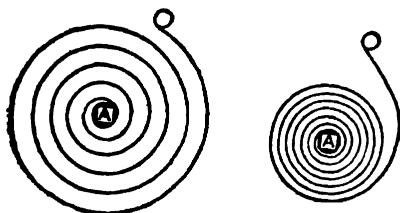
10 kg = 10,000 gm

10 metres/sec = 1000 cm/sec

$\therefore$ গতিশক্তি $= \frac{1}{2} \times 10{,}000 \times (1000)^2$ ergs $= 5 \times 10^9$ ergs $= 500$ joules.

জ্ঞাতব্য—শক্তি নিরপেক্ষ এককে পাইতে হইলে এফ্-পি-এস্ পদ্ধতিতে ভর পাউণ্ডে ও বেগ ft./sec এ প্রকাশ করিয়া লইতে হইবে। সি-জি-এস্ পদ্ধতি হইলে ভর গ্র্যামে ও বেগ cm./sec এ লইতে হইবে। পরে অভিকর্ষীয় এককে রূপান্তর করা চলিবে।

4-7. (Potential Energy) (স্থিতি-শক্তি)—সময় নির্দেশ করিবার জন্য ঘড়ির কাঁটা নিরন্তর ঘুরিয়া চলিয়াছে। কাঁটা ঘুরাইবার জন্য শক্তির প্রয়োজন। এই শক্তি কোথা হইতে আসে? আমরা সকলেই জানি সচল রাখিবার জন্য ঘড়িতে নিয়মিত দম দিতে হয়। এই দম দেওয়ার অর্থ একটি চাবি ঘুরাইয়া ঘড়ির স্প্রিং গুটাইয়া ছোট করিয়া দেওয়া। স্প্রিংটি ছাড়িয়া দিলে উহা প্যাঁচ খুলিয়া বড় হইয়া যায়। এই অবস্থায় ঘড়ি চলে না। 4·3 চিত্রে *A*র সহিত সংযুক্ত চাবি ঘুরাইতে থাকিলে স্প্রিং ধীরে ধীরে গুটাইয়া ছোট হইয়া যাইবে। এইবার স্প্রিং ছাড়িয়া দিলে উহা পুনরায় নিজ হইতে প্যাঁচ খুলিবার চেষ্টায় উল্টা দিকে ঘুরিতে থাকিবে এবং ক্রমে স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া যাইবে। স্প্রিং-এর সহিত সুকৌশলে ঘড়ির কাঁটা এরূপভাবে সংযুক্ত থাকে যে স্প্রিং যখন উল্টা দিকে ঘুরে, তখন ঘড়ির কাঁটাও তাহার সহিত ঘুরিতে থাকে, অর্থাৎ ঘড়ি চলে।

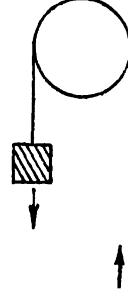


চিত্র 4 3

তাহা হইলে দেখা যাইতেছে ঘড়ির কাঁটা ঘুরিবার জন্য যে শক্তি প্রয়োজন স্প্রিংই তাহা যোগাইতেছে। স্প্রিং স্বাভাবিক অবস্থায় থাকিলে এই শক্তি যোগাইতে পারে না। উহার স্বাভাবিক অবস্থা পরিবর্তিত করিয়া উহাকে গুটাইয়া ছোট করিবার জন্য উহার কার্য করিবার সামর্থ্য আসে অর্থাৎ উহার মধ্যে খানিকটা শক্তি সঞ্চিত হয়। স্বাভাবিক অবস্থায় স্প্রিংএর যে অবস্থান, গুটান

অবস্থায় আপেক্ষিক ভাবে সেই অবস্থানের পরিবর্তন হইয়াছে এবং এই জন্যই স্প্রিং কার্য করিবার সামর্থ্য, অর্থাৎ শক্তি লাভ করিয়াছে।

আর একটি উদাহরণ ধরা যাউক। কোন বস্তুকে মাটি বা টেবিল হইতে খানিকটা উঁচুতে তোলা হইল। ছাড়িয়া দিলে উহা মাটি বা টেবিলের উপরে পড়িবে। উপরে স্থিরথাকা কালীন উহার সহিত একগাছি সুতা বাঁধিয়া (4.4 চিত্র) সুতাগাছি একটি কপিকলের উপর দিয়া ঘুরাইয়া, সুতার অন্যপ্রান্ত নীচের একটি হালকা বস্তুর সহিত আটকান হইল। এখন প্রথম বস্তুটি ছাড়িয়া দিলে উহা দ্বিতীয় বস্তুটিকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে টানিয়া তুলিবে, অর্থাৎ কার্য করিতে পারিবে। প্রথম বস্তুটি যতক্ষণ মাটি বা টেবিলের উপর ছিল ততক্ষণ উহার এই কার্য করিবার সামর্থ্য ছিল না। কিন্তু উহাকে উপরে তোলায় উহার এই সামর্থ্য আসিল, অর্থাৎ উহাতে শক্তি সঞ্চিত হইল। দেখা গেল যে পারিপার্শ্বিক সাপেক্ষে অবস্থানের পরিবর্তনের জন্যও শক্তি সঞ্চিত হইতে পারে।



চিত্র 4.4

Potential energyর সংজ্ঞা ও মান—কোন বস্তুর বিভিন্ন অংশের আপেক্ষিক অবস্থান বা পারিপার্শ্বিক সাপেক্ষে বস্তুটির অবস্থানের জন্য উহার মধ্যে যে কার্য করিবার সামর্থ্য বা শক্তি সঞ্চিত হয় তাহাকে উহার potential energy বা স্থিতি-শক্তি বলে। অবস্থানের পরিবর্তন ঘটাইতে যে কার্য করিতে হয় তাহাই স্থিতি-শক্তির মান।

বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তুর স্থিতি ও গতি শক্তির যোগফল পতন কালে স্থির থাকে—m ভরের একটি বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে h উচ্চতায় তুলিতে মোট কার্য করিতে হয় $W=mgh$। এই কার্য ঐ বস্তুটির মধ্যে স্থিতি-শক্তিরূপে বিদ্যমান থাকে। বস্তুটিকে উচ্চস্থান হইতে ফেলিয়া দিলে এই স্থিতি-শক্তি ক্রমশ গতি-শক্তিতে রূপান্তরিত হইতে থাকে। বিনা বাধায় পড়িতে থাকিলে পড়িবার সময়ে যে কোন মুহূর্তে উহার স্থিতি ও গতিশক্তির মোট পরিমাণ mghএর সমান হইবে, ইহা দেখান যাইতে পারে। ধরা যাউক

প্রাথমিক অবস্থায় বস্তুর স্থিতিশক্তি $= mgh$,

,, ,, ,, গতিশক্তি $= 0$;

অতএব ,, ,, ,, মোট শক্তি $= mgh$ ।

x দূরত্ব পড়িবার পর উহার বেগ যদি v হয় তবে 2·9 সমীকরণে আদিবেগ $u = 0$ ধরিয়া পাওয়া যায়

$$v^2 = 2gx$$

সুতরাং উহার গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv^2 = mgx$ ।

নীচ হইতে $h - x$ উচ্চতায় থাকায় উহার স্থিতিশক্তি $= mg\ (h - x)$ ।

অতএব মোট শক্তি $= \frac{1}{2}mv^2 + mg\ (h - x) = mgh$ ।

সুতরাং দেখা যাইতেছে **পড়িবার সময় যে কোন অবস্থানে বস্তুটির মোট শক্তির পরিমাণ স্থির।** উপরন্তু, আরম্ভে বেগের মান শূন্য বলিয়া মোটশক্তি mgh সম্পূর্ণ স্থৈতিক। অন্তে $x = h$ হওয়ায় স্থৈতিক শক্তির মান শূন্য, এবং মোট শক্তি সম্পূর্ণ গতীয়। অন্তবেগ v_0 হইলে মোটশক্তি $\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh$ ।

স্থিতিশক্তি সম্বন্ধে একটি বিশেষ প্রয়োজনীয় তথ্যের উল্লেখ এখানে করা যাইতে পারে। **যে অবস্থিতিতে কোন বস্তু বা বস্তুসমষ্টির (System of bodies) স্থিতিশক্তি সর্বাপেক্ষা কম, বস্তু বা বস্তুসমষ্টি সেই অবস্থিতিতে যাইতে প্রয়াস পায়।** এই কারণেই বস্তু উচ্চস্থান হইতে নীচে চলিয়া আসিতে চেষ্টা করে, নদী পর্বত হইতে সমতল ক্ষেত্রে গড়াইয়া নামে বা পেঁচানো স্প্রিং খুলিয়া যাইতে চায়।

4-8. Transformation of Energy (শক্তির রূপান্তর) —বিভিন্ন প্রকার শক্তির কথা পূর্বেই বলা হইয়াছে। শক্তি এক রূপ হইতে অন্যরূপে পরিবর্তিত হইতে পারে। শক্তির এই রূপ-পরিবর্তনের নাম শক্তির রূপান্তর। ঢিল উচ্চস্থান হইতে ফেলিয়া দিলে উহার স্থিতিশক্তি ক্রমশ গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। আবার রেলগাড়ীতে কয়লা পোড়াইয়া যে শক্তি পাওয়া যায় ইঞ্জিন তাহাকেই যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে। যান্ত্রিক শক্তিকেও ইচ্ছা করিলে তাপশক্তিতে পরিণত করা যায়। আদিম যুগে লোকে দুই টুকরা কাঠ ঘষিয়া অগ্নি উৎপাদন করিত। এ ক্ষেত্রে কাঠ ঘষিবার জন্য ঘর্ষণের বিরুদ্ধে যে কার্য করিতে হয় তাহাই তাপশক্তিতে

ডায়নামোর (Dynamo) সাহায্যে এইরূপে যান্ত্রিক শক্তিকে বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়। নদীর জল যখন পাহাড়ের উঁচু জমিতে থাকে তখন উহার মধ্যে প্রচুর স্থিতিশক্তি জমা থাকে। নদী যত নীচু সমতল ভূমিতে নামে এই স্থিতিশক্তিও তত গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হইতে থাকে। নদীতে উঁচু বাঁধ দিয়া সেই বাঁধ হইতে জল উপচাইয়া পড়িতে দিলে জলের স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হইবে। সেই গতিশক্তির সাহায্যে একটি চাকা ঘুরাইয়া তাহার সহিত যদি একটি ডায়নামো লাগাইয়া দেওয়া যায়, তবে ডায়নামো হইতে আমরা বৈদ্যুতিক শক্তি আহরণ করিতে পারি। এইরূপে নদীর জলের স্থিতিশক্তিকে রূপান্তরিত করিয়া যে বৈদ্যুতিক শক্তি পাওয়া যায় তাহাকেই Hydro-electric power বলে। আবার বৈদ্যুতিক পাখার মধ্য দিয়া বিদ্যুৎ-প্রবাহ প্রেরণ রূপান্তরিত হয়। হাতে হাত ঘষিলে হাত গরম হয়। বিদ্যুৎকে একটি সরু তারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত করিলে তার উত্তপ্ত হইয়া উঠে এবং ক্রমে আলোক বিকিরণ করে। এক্ষেত্রে বৈদ্যুতিক শক্তি তাপ ও আলোক শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে। একটি তামার তারের দুই মুখ অন্য একটি লোহার তারের দুই মুখের সহিত জুড়িয়া দিয়া একটি জোড়ে যদি তাপ প্রয়োগ করা যায় তবে ঐ তারের মধ্য দিয়া বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। এখানে তাপশক্তি বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে। কোন চৌম্বকক্ষেত্রে (Magnetic field) যদি একটি তারের কুণ্ডলীকে ঘুরান যায় তবে উহার মধ্যে বিদ্যুৎ-প্রবাহের (Electric current) সৃষ্টি হইবে। করিলে পাখা ঘুরিতে থাকে। এখানে বৈদ্যুতিক শক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে। বিদ্যুৎ-প্রবাহের সাহায্যে ট্রামগাড়ী চালান শক্তির রূপান্তরের আর একটি দৃষ্টান্ত। জলের মধ্যদিয়া বিদ্যুৎ-প্রবাহ প্রেরণ করিলে জল হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনে বিভক্ত হইয়া যায়। এখানে বৈদ্যুতিক শক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে। আবার সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্যে তামা ও দস্তার পাত ঢুকাইয়া উহাদিগকে একটি তার দিয়া যুক্ত করিয়া দিলে তারের মধ্য দিয়া বিদ্যুৎ প্রবাহিত হইবে। এ ক্ষেত্রে রাসায়নিক শক্তি বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে।

4-9. (পৃথিবীর শক্তির উৎস সূর্য—) কয়লা পোড়াইয়া যে তাপশক্তি পাওয়া যায় তাহাকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করিয়া রেলের ইঞ্জিন গাড়ী টানে। কয়লায় শক্তি কোথা হইতে আসিল ?

আমরা জানি গাছপালা সূর্যালোকের সাহায্যে বায়ু হইতে খাদ্য আহরণ করিয়া নিজেদের পুষ্টিসাধন করে। অর্থাৎ সূর্যালোকে যে তাপ ও আলোক শক্তি থাকে, তাহাকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করিয়া গাছপালা নিজেদের দেহে সঞ্চিত করে। প্রাকৃতিক বিপর্যয়ে কোটি কোটি বৎসর ভূগর্ভে প্রোথিত থাকিয়া এই সব গাছপালা তথাকার প্রচণ্ড চাপে কয়লায় রূপান্তরিত হয়। সূর্যালোক হইতে আহৃত শক্তি কয়লার মধ্যে রাসায়নিক শক্তি রূপে সঞ্চিত থাকে। এই কয়লা যখন আমরা পোড়াই তখন বহুদিন পূর্বে সঞ্চিত সূর্যের শক্তি পুনরায় তাপে রূপান্তরিত হয়।

পূর্বেই বলা হইয়াছে নদীর জলের শক্তিকে রূপান্তরিত করিয়া বৈদ্যুতিক, যান্ত্রিক প্রভৃতি নানাবিধ শক্তি পাওয়া যায়। জলের মধ্যে এই শক্তি আসে পাহাড় প্রভৃতি উচ্চস্থানের জলের অবস্থানের জন্য। কিন্তু কোন্ শক্তি উহাকে সমুদ্র হইতে ঐ উচ্চস্থানে লইয়া যায়? এ ক্ষেত্রেও দেখিতে পাই সূর্যরশ্মি হইতে শক্তি গ্রহণ করিয়া সমুদ্রের জল বাষ্পে পরিণত হয়। ঐ বাষ্প মেঘের আকারে গিয়া পাহাড়-পর্বতের শীর্ষদেশে জমিয়া জল হয়। এ ক্ষেত্রে জলের যে স্থিতিশক্তি তাহার উৎস সেই সূর্যালোক।

এমনি করিয়া ভাবিলে আমরা দেখিতে পাই যে পৃথিবীর সমস্ত শক্তির মূল উৎস সূর্য। সূর্য হইতে শক্তি নিরন্তর চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়িতেছে। সেই বিশাল শক্তিপ্রবাহের এক অতি ক্ষুদ্র অংশ আসিয়া আমাদের পৃথিবীর উপরে পড়ে। ইহারই এক অংশ পৃথিবী নানা উপায়ে গাছপালা, সমুদ্র প্রভৃতির সাহায্যে সযত্নে সঞ্চিত করিয়া রাখে। পৃথিবীর ভাণ্ডারে সঞ্চিত এই শক্তিই পরে নানা রূপান্তরের মধ্য দিয়া বিভিন্নভাবে আত্মপ্রকাশ করে। শক্তির এই রূপান্তরের ফলেই পৃথিবীর বুকে সমস্ত প্রকার পরিবর্তন ও পরিবর্ধন ঘটিয়া থাকে। যেখানে শক্তির রূপান্তর নাই, সেখানে পরিবর্তনও নাই। যেখানে পরিবর্তন নাই, সেখানে জগৎ স্থির, অচঞ্চল অর্থাৎ মৃত। শক্তির রূপান্তর না ঘটিলে নদীর জলে স্রোত থাকিবে না, সমুদ্রের জল বাষ্পায়িত হইবে না, আকাশে মেঘ হইবে না। গাছপালা, জীবজন্তু যে যেখানে যেমন আছে সে সেখানেই থাকিবে। এক কথায় পৃথিবী রূপকথার ঘুমন্ত রাজপুরীতে পরিণত হইবে। কোনরূপ পরিবর্তন সম্ভব হইবে না, কারণ পরিবর্তন অর্থই তো শক্তির রূপান্তর। এরূপ জগৎকে মৃত ছাড়া আর কি বলিব!

4-10. সৌর শক্তির উৎস—দেখা গেল, পৃথিবীর বুকে যে শক্তির এই অনন্ত লীলা, তাহার উৎস সূর্য। সূর্য হইতে নিরন্তর যে বিশাল শক্তির স্রোত প্রবাহিত হইতেছে, যাহার এক অতি ক্ষুদ্র অংশ কাজে লাগাইয়াই পৃথিবীর সমস্ত কার্য সংঘটিত হইতেছে, সেই শক্তির উৎস কোথায়? কোথা হইতে সূর্য এই অনন্ত শক্তির ভাণ্ডার সংগ্রহ করিল? বিশ্ববিখ্যাত বৈজ্ঞানিক আইন্‌স্টাইন শক্তির এক নূতন রূপান্তরের কথা আমাদের বলিয়াছেন। তাঁহার মতে পদার্থ রূপান্তরিত হইয়া শক্তিতে পরিণত হইতে পারে। তিনি দেখাইয়াছেন যে রূপান্তরিত পদার্থের পরিমাণ খুব অল্প হইলেও বিশাল শক্তির সৃষ্টি হইবে। এক সের ভরের যে কোন পদার্থ শক্তিতে রূপান্তরিত করিতে পারিলে প্রায় ৭।৮ কোটি মণ কয়লা পোড়াইবার সমান শক্তি পাওয়া যায়। আমরা যে আণবিক বোমার কথা শুনি তাহার শক্তি আসে পদার্থের রূপান্তর হইতে। সূর্যের পদার্থ ধীরে ধীরে নিজেকে শক্তিতে রূপান্তরিত করিতেছে। সেই শক্তিই নিরন্তর চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়ে। এই রূপান্তরের ফলে সূর্যের মোট পদার্থের পরিমাণ ক্রমশ কমিয়া যাইতেছে। প্রসিদ্ধ বৈজ্ঞানিক জেমস্ জীন্‌স্ (Sir James Jeans) হিসাব করিয়াছেন যে এই রূপান্তরের ফলে সূর্যের ভর প্রতি মিনিটে প্রায় 250,000,000 (পঁচিশ কোটি) টন কমিয়া যাইতেছে।

কিন্তু সূর্য এত বড় যে এই হারে ওজন কমিতে থাকিলেও এক কোটি বৎসরে তাহার ওজন কমিবে মাত্র দশলক্ষ ভাগের এক ভাগ।

4-11. শক্তি অবিনাশী—উপরের আলোচনায় দেখা যাইতেছে যে শক্তি নিয়তই একরূপ হইতেই অন্যরূপে পরিবর্তিত হইতেছে, উহার বিনাশ নাই। এক সময়ে বৈজ্ঞানিকগণের বিশ্বাস ছিল, শক্তির বিনাশ ও সৃষ্টি উভয়ই সম্ভব। তাই তাঁহারা এমন যন্ত্র আবিষ্কারের চেষ্টা করিয়াছিলেন যাহা শক্তি সৃষ্টি করিবে, অর্থাৎ যাহাতে কোনরূপ শক্তি প্রয়োগ করিতে হইবে না, অথচ যন্ত্র কাজ করিয়া যাইবে। কিন্তু বহু চেষ্টায়ও তাহা সম্ভবপর হয় নাই। তাই বৈজ্ঞানিকগণ সিদ্ধান্ত করিতে বাধ্য হইয়াছেন যে শক্তির বিনাশ ও সৃষ্টি দুইই অসম্ভব। শক্তির রূপান্তর ঘটে, কিন্তু বিনাশ হয় না। যখন এক রূপের শক্তি বিলুপ্ত হয় তখন তাহা অন্যরূপে কোথাও আত্মপ্রকাশ করে। তাই মোট শক্তির পরিমাণ জগতে সর্বদাই সমান। ইহাকেই **শক্তির নিত্যতার সূত্র (Law of conservation of energy)** বলা হয়।

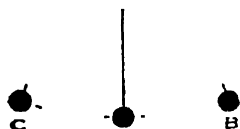
পঞ্চম পরিচ্ছেদ

দোলক

(Pendulum)

5-1. সাধারণ দোলক : কতকগুলি সংজ্ঞা—এক গাছি সুতায় এক টুকরা ভারী বস্তু ঝুলাইয়া, বস্তুটিকে একপাশে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা দুলিতে থাকে। সুতার উপর প্রান্ত কোথাও আবদ্ধ থাকা দরকার। সুতাসমেত বস্তুটিকে **Pendulum** (**দোলক**) বলা যায়। ভারী বস্তুটিকে **Bob** (**দোলকপিণ্ড**) ও সুতা যে বিন্দুতে আবদ্ধ সেখান হইতে পিণ্ডের ভারকেন্দ্র পর্যন্ত দূরত্বকে **Effective length** (**দোলকের দৈর্ঘ্য**) বলে।

5·1 চিত্রে দোলকটি O বিন্দুতে আবদ্ধ এবং দোলকের স্থির অবস্থিতি A। O হইতে দোলক পিণ্ডের ভারকেন্দ্র পর্যন্ত দূরত্ব দোলকের দৈর্ঘ্য। পিণ্ড B পর্যন্ত টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা A অবস্থিতি অতিক্রম করিয়া C অবধি যাইয়া সেখানে মুহূর্তমাত্র স্থির থাকিয়া আবার একই পথে B পর্যন্ত ফিরিয়া আসিবে এবং এই ভাবে A বিন্দুর দুই পাশে দোল খাইতে থাকিবে। দুলিবার সময় দোলক স্থির অবস্থা হইতে সর্বাপেক্ষা দূরে যতটা যায় তাহাকে দোলনের **Amplitude** (**বিস্তার**) বলে। চিত্রে A হইতে B অথবা Cর দূরত্ব এই বিস্তার বুঝায়। এক্ষেত্রে AB বা ACকে **Linear amplitude** (**রৈখিক বিস্তার**) বলে। AOB বা AOC কোণ দিয়াও বিস্তার বুঝান যাইতে পারে। এই কোণকে **Angular amplitude** (**কৌণিক বিস্তার**) বলা হয়।



চিত্র 5·1

দোলন পথের যে কোন বিন্দু হইতে আরম্ভ করিয়া দুই প্রান্ত অবধি গিয়া আবার সেই বিন্দুতে ফিরিয়া আসাকে একটি **Oscillation** (**সম্পূর্ণ দোলন**) বলে। A বিন্দু হইতে আরম্ভ করিয়া প্রথমে Bতে গিয়া ফেরার পথে A অতিক্রম

করিয়া Cতে গিয়া আবার Aতে ফিরিয়া আসা ***পর্যন্ত একটি সম্পূর্ণ দোলন।*** একটি দোলন সম্পূর্ণ করিতে যে সময় লাগে তাহাকে ***Period time*** **বা Period** (**দোলন-কাল** বা **পর্যায়-কাল**) বলে। এক সেকেণ্ডে যতগুলি দোলন হয় তাহাকে **Frequency** (**দোলন-মান** বা **কম্পাঙ্ক**) বলে। Frequency n ও period T হইলে

$$n=\frac{1}{T}, \text{ বা } nT=1 \qquad (5.1)$$

সুতায় বস্তুখণ্ড না ঝুলাইয়া যে কোন দৃঢ় (rigid) বস্তুকে কোন অক্ষের উপর দোল খাওয়াইবার ব্যবস্থা করিলে ইহাও কার্যত দোলক হয়। প্রধানত বায়ুর বাধার জন্য যে কোন দোলকের amplitude কমিয়া আসে ও শেষ পর্যন্ত দোলক থামিয়া যায়।

5-2. Simple বা Ideal Pendulum (সরল বা আদর্শ দোলক)—গণিতের সাহায্যে বাস্তব দোলকের (**Compound** বা **physical pendulum**) দোলনের আলোচনা কিছু কঠিন। সুতার ওজন উপেক্ষা করিলে ও পিণ্ডকে আয়তনহীন কণামাত্র ধরিলে আলোচনা অনেক সরল হয়। গাণিতিক আলোচনার সুবিধার জন্য আমরা আদর্শ দোলকের কল্পনা করি। **এই কল্পিত দোলকের সুতা ভরহীন, টানিলে বাড়ে না এবং উহা বাঁকাইতে কোন বলের প্রয়োজন হয় না। দোলকের পিণ্ড ভরবিশিষ্ট আয়তনহীন কণামাত্র। এই দোলককে আমরা Ideal** বা **simple pendulum** (**আদর্শ বা সরল দোলক**) **বলি**। সহজেই বুঝা যায়, উপরিউক্ত সংজ্ঞার কোন বাস্তব দোলক হইতে পারে না। সাধারণ একগাছা সুতার সাহায্যে একটি ভারী পিণ্ড ঝুলাইলে যে দোলক হয় তাহা আদর্শ দোলকের স্থুল সংস্করণ। সুতার ভর পিণ্ডের ভরের তুলনায় উপেক্ষা করা যায় এবং পিণ্ড গোলাকার হইলে উহার ভর কেন্দ্রে সংস্থিত বলিয়া ধরা যায়।

5-3. Laws of Simple Pendulum (সরল দোলকের সূত্র)—সরল দোলকের কয়েকটি বিশেষত্ব আছে। গ্যালিলিও সর্বপ্রথম এই বিশেষত্বগুলি কয়েকটি সূত্রে লিপিবদ্ধ করেন।

প্রথম সূত্র—Amplitude কম থাকিলে কোন দোলকের প্রতি

দোলনে একই সময় লাগে। (যদি কৌণিক বিস্তার চার ডিগ্রীর কম হয় এবং বায়ুর বাধা বেশী না থাকে তাহা হইলে বাস্তব দোলকের প্রতি দোলন একই সময়ে সম্পন্ন হয়।)

দ্বিতীয় সূত্র—নির্দিষ্ট স্থানে নির্দিষ্ট দোলকের period T উহার দৈর্ঘ্য l এর বর্গমূলের সমানুপাতিক,

অর্থাৎ $$T \propto \sqrt{l}$$

তৃতীয় সূত্র—দৈর্ঘ্য একই থাকিলে বিভিন্ন স্থানে দোলকের period T অভিকর্ষজ ত্বরণ gর বর্গমূলের সহিত ব্যস্ত আনুপাতিক,

অর্থাৎ $$T \propto \frac{1}{\sqrt{g}}$$

চতুর্থ সূত্র—দোলকপিণ্ডের আকার, ওজন বা উপাদানের উপর পর্যায়কাল নির্ভর করে না।

দোলকের period—দ্বিতীয় ও তৃতীয় সূত্র একত্রিত করিয়া আমরা লিখিতে পারি $T \propto \sqrt{\frac{l}{g}}$

$\therefore\ T = c\sqrt{\frac{l}{g}}$; এখানে c ধ্রুবক। গণিতের সাহায্যে উহার মান পাওয়া যায় 2π।

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (5.2)$$

উপরিউক্ত সমীকরণের সাহায্যে বিভিন্ন দোলকের period বাহির করা যায়।

আরও দেখা যায় যে, কোন দোলকের দৈর্ঘ্য ও period মাপিলেই আমরা উক্ত সমীকরণের সাহায্যে ঐ স্থানের gর মান বাহির করিতে পারি।

যেহেতু $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

$$\therefore\ g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \qquad (5.3)$$

5-4. দোলকের দৈর্ঘ্যের পরীক্ষামূলক প্রমাণ—দোলকের সূত্রগুলি নিম্নলিখিত ভাবে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায় :

(1) **সমপর্যায়-কালের সূত্র**—একটি লোহার কিংবা পিতলের ভারী বল লম্বা সুতার দ্বারা ঝুলাইয়া দিয়া দোলক প্রস্তুত করা হইল। পিণ্ডকে এক পাশে টানিয়া ছাড়িয়া দিলেই উহা দুলিতে থাকিবে। কুড়ি কি ত্রিশ দোলন সম্পূর্ণ করিতে কত সময় লাগে ঘড়ির সাহায্যে তাহা জানিয়া উহা হইতে একটি দোলনে কত সময় লাগে বাহির করা হইল। এইবার দোলনের amplitude কমাইয়া অথবা বাড়াইয়া দিয়া আবার উহার period বাহির করা হইল। দোলনের বিস্তার যদি সর্বক্ষেত্রে চার ডিগ্রীর কম থাকে তবে দেখা যাইবে যে period সর্বদা একই হইবে। এইরূপে প্রথম সূত্র প্রমাণিত হইল।

(2) **দৈর্ঘ্য-বিষয়ক সূত্র**—দোলকের সুতার দৈর্ঘ্য একটি স্কেল দিয়া মাপা হইল। উহার সহিত পিণ্ডের ব্যাসার্ধ যোগ করিলে দোলকের দৈর্ঘ্য l_1 পাওয়া যাইবে। উহার period T_1 আগের মত ঘড়ির সাহায্যে বাহির করা হইল। সুতার দৈর্ঘ্য বদলাইয়া দোলকের দৈর্ঘ্য l_1 স্থানে l_2 করা হইল এবং নূতন পর্যায়-কাল T_2 মাপা হইল। এইরূপে বিভিন্ন দৈর্ঘ্য ও তাহাদের period বাহির করা হইল। পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে

$$\frac{T_1}{\sqrt{l_1}}=\frac{T_2}{\sqrt{l_2}}=\frac{T_3}{\sqrt{l_3}}=\text{ধ্রুব (Constant)}$$

ইহা দ্বারা দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হইল।

(3) **Period ও অভিকর্ষজ ত্বরণ**—তৃতীয় সূত্র প্রমাণ করিতে হইলে দোলকটির দৈর্ঘ্য এক রাখিয়া উহাকে বিভিন্ন স্থানে লইয়া যাইতে হইবে এবং প্রত্যেক জায়গায় উহার period বাহির করিতে হইবে। পরীক্ষায় দেখা যাইবে যে g_1, g_2 প্রভৃতি যদি বিভিন্ন স্থানে gর মান হয় এবং T_1, T_2 প্রভৃতি যথাক্রমে ঐ সকল স্থানের period হয়, তবে

$$T_1\sqrt{g_1}=T_2\sqrt{g_2}=T_3\sqrt{g_3}=\text{ধ্রুব। অতএব } T\propto\frac{1}{\sqrt{g}}\text{।}$$

(4) **Period ও দোলক-পিণ্ড**—দোলকের দৈর্ঘ্য সমান রাখিয়া বিভিন্ন আকারের, বিভিন্ন ওজনের ও বিভিন্ন পদার্থের পিণ্ড লইয়া প্রতিক্ষেত্রে উহাদের period মাপা হইল। দেখা যাইবে যে প্রতিক্ষেত্রে period একই। ইহা দ্বারা চতুর্থ সূত্র প্রমাণিত হইল।

5-5. সেকেণ্ড-দোলক (Seconds Pendulum)—যে দোলকের period **দুই সেকেণ্ড** তাহাকে সেকেণ্ড-দোলক বলা হয়। 5·2 সমীকরণে $T=2$ ধরিলে, পাওয়া গেল

$$2=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$\therefore \quad l=g/\pi^2. \tag{5.4}$$

যেহেতু ভূপৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে gর মান বিভিন্ন, সেজন্য সেকেণ্ড-দোলকের দৈর্ঘ্যও বিভিন্ন হইবে।

কোনও কারণে দোলক-ঘড়ির দোলকের দৈর্ঘ্য বাড়িয়া গেলে উহার period বাড়িয়া যায় এবং ঘড়ি তখন ধীরে (slow) চলে। আবার দৈর্ঘ্য কমিয়া গেলে period কমিয়া যায় এবং ঘড়ি দ্রুত (fast) চলে।

উদাহরণ ঃ (1) কোনও স্থানে gর মান 980 cm/sec². ঐ স্থানের সেকেণ্ড-দোলকের দৈর্ঘ্য কত হইবে।

সেকেণ্ড-দোলকের দৈর্ঘ্য l হইলে 5·4 সমীকরণ হইতে

$$l=\frac{g}{\pi^2}=\frac{980}{\pi^2}=99{\cdot}26 \text{ cm}।$$

(2) যেস্থানে $g=32{\cdot}02$ সেখানে কোন দোলক সেকেণ্ড-দোলকরূপে চলে। উহাকে যেখানে $g=32$ সেই স্থানে লইয়া যাওয়া হইল। প্রতি দিনে উহা কত দ্রুত বা ধীরে চলিবে?

প্রথম স্থানে উহার দোলন-কাল $=2$ sec

$$2=2\pi\sqrt{\frac{l}{32{\cdot}02}}$$

$$l=\frac{32{\cdot}02}{\pi^2}$$

দ্বিতীয় স্থানে দোলন-কাল যদি T হয় তবে

$$T=2\pi\sqrt{\frac{32{\cdot}02}{32\pi^2}}=2\sqrt{\frac{32{\cdot}02}{32}}$$

একদিনে মোট $24\times60\times60=86400$ সেকেণ্ড।

অতএব একদিনে স্থানান্তরিত দোলকের মোট অর্ধ দোলনের সংখ্যা (total number of beatings)

$$\frac{86400}{\sqrt{\frac{32{\cdot}02}{32}}}=86400\left(1+\frac{{\cdot}02}{32}\right)^{-\frac{1}{2}}=86400\left(1-\frac{1}{2}\times\frac{{\cdot}02}{32}\right)$$

$$=86400-27=86373.$$

এই ঘড়ি নিজের প্রতি অর্ধ দোলনে এক সেকেণ্ড দেখায়। অতএব সারাদিনে সে দেখায় 86373 সেকেণ্ড। ∴ প্রতি দিনে ঘড়ি 86400 − 86373 = 27 সেকেণ্ড ধীরে চলিবে।

(3) সাধারণ দেওয়াল ঘড়ির দোলন-কাল এক সেকেণ্ড। $g = 980 cm/sec^2$ হইলে উহার দোলকের দৈর্ঘ্য কত ?

এখানে $T = 1$ sec

∴ $l = g/4\pi^2 = 24.81$ cm

5.6. স্থানভেদে দোলকের দ্রুত বা ধীরে চলা—

দোলকের দৈর্ঘ্য স্থির থাকিলে দোলন কাল gর বর্গমূলের ব্যস্ত আনুপাতিক হয়। কাজে কাজেই একই দোলককে পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে লইয়া গেলে উহা কোথাও দ্রুত, কোথাও ধীরে চলিবে। মনে কর কলিকাতায় একটি সেকেণ্ড-দোলক সঠিক ভাবে চলে। কলিকাতার অক্ষাংশ 22°34′। অক্ষাংশ বাড়িলে g বাড়ে, সুতরাং T কমে। T কমিলে দোলন পূর্বাপেক্ষা কম সময়ে সম্পন্ন হয়; কাজে কাজেই পূর্ণ একদিনে দোলকটি 86400 বারের বেশী অর্ধ দোলন সম্পন্ন করে, অর্থাৎ উহা দ্রুত চলে। আবার অক্ষাংশ কমিলে g কমার জন্য ইহার বিপরীত ফল হয়; অর্থাৎ সেকেণ্ড-দোলক ধীরে চলে। সুতরাং উপরোক্ত সেকেণ্ড-দোলক নিরক্ষরেখার দিকে লইয়া গেলে ধীরে চলিবে, মেরুর দিকে লইয়া গেলে দ্রুত চলিবে।

মাটির নীচে, যেমন গভীর খাদের মধ্যে, g কম। এরূপ স্থানে উক্ত দোলক ধীরে চলিবে। উঁচু পাহাড়ের উপরেও g কম। সেখানেও একই ফল পাওয়া যাইবে।

g নির্ণয়—5.3 সমীকরণে আমরা পাইয়াছি $g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$। কোন স্থানে দোলকের সাহায্যে gর মান বাহির করিতে হইলে 100 cm বা আরও বেশী দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট একটি দোলক লইয়া উহার **কৌণিক বিস্তার চার ডিগ্রীর অনধিক** রাখিয়া খুব সতর্কতার সহিত দোলন-কাল নিরূপণ করিতে হইবে। l ও Tর মান 5.3 সমীকরণে বসাইলে g পাওয়া যাইবে। ভাল ফল পাইবার জন্য বিভিন্ন l লইয়া প্রতিবারে T বাহির করিয়া l/T^2 এর মান নিরূপণ করিতে হয়। l বিভিন্ন হইলেও l/T^2 এর মান ধ্রুব হইবে। বিভিন্ন ক্ষেত্রে l/T^2এর যে মান পাওয়া যাইবে তাহার গড় নির্ধারণ করিয়া 5.3 সমীকরণে বসাইয়া g পাওয়া যাইবে। মনে রাখিতে হইবে প্রত্যেক পরীক্ষাতেই l বড় ও কৌণিক বিস্তার চার ডিগ্রীর অনধিক হওয়া দরকার।

Exercise

1. What is a simple pendulum? State the laws of oscillation of a simple pendulum and describe how you would verify them.

What is meant by 'effective length' of a pendulum?

2. How can you find the value of 'g' at a place with the help of a simple pendulum?

A simple pendulum of length 50 cm executes 30 oscillations in 42.6 seconds. Find the value of 'g' at the place.

Take $\pi^2=9.87$. [*Ans*: 979 cm/sec^2.]

3. What is an ideal pendulum? How is it realized in practice?

Will a pendulum clock gain or lose when taken (1) to the top of a mountain, (2) down into a mine, (3) removed from a place of lower to a place of higher latitude? Give reasons for your answer.

4. What is a seconds pendulum? Calculate the length of a seconds pendulum at a place where (*i*) $g=978$ cgs units, (*ii*) $g=32.15$ fps units. [*Ans*: (*i*) 99.08 cm; (*ii*) 3.258 ft.]

5. A pendulum clock beats half seconds. Find its length if $g=980$ cgs units.

How much will it gain or lose in a day, (*i*) if its length is increased by $\frac{1}{100}$ of its original length, (*ii*) if it is taken to a place where $g=978$ cm/sec^2?

[*Ans*: 24.8 cm; (*i*) loses 432 secs; (*ii*) loses 88 secs.]

6. Two pendulums of time-periods 1.6 sec and 1.7 sec are started at the same time. How many seconds later will one gain one complete oscillation over the other? How many oscillations does the faster one execute in the mean time? [*Ans*: 27.2 secs, 17 oscillations.]

7. How is the period of swing of a pendulum related to the weight of the bob, its length, and the amplitude of the swing?

Hence state the laws of a simple pendulum and indicate how these are verified in the laboratory.

8. State the laws of oscillation of a simple pendulum. A pendulum clock gives correct time on the surface of the earth. Explain, giving reasons, whether it will gain or lose when taken to the top of a mountain.

Find the length of a seconds pendulum at a place where $g=980$ cm/sec^2. (C. U. '49)

9. State the laws of oscillation of a simple pendulum and write down the expression for its period. What precautions or corrections are necessary in an experiment with a simple pendulum? (C. U. '53)

10. If the length of a seconds pendulum were taken as the unit of length, what would be the value of g? (C. U. '60)

[*Ans*: π^2 units.]

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

স্থিতিস্থাপকতা

(Elasticity)

6-1. Elasticity (স্থিতিস্থাপকতা)—একটি লোহার পাত বাঁকাইতে হইলে বল প্রয়োগ করিতে হয় এবং অল্প একটু বাঁকাইয়া ছাড়িয়া দিলে উহা পুনরায় পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া আসে। এক টুকরা রবারকে চাপ দিয়া আয়তনে ছোট করা যায়, কিন্তু চাপ সরাইয়া লইলে উহা পূর্বাবস্থা পায়। ইহাতে বুঝা যায় যে **পদার্থের আকৃতি বা আয়তন পরিবর্তন করিতে গেলে পদার্থ উহাতে বাধা দেয় (offers resistance) এবং বল সরাইয়া লইলে উহা পূর্বের আকৃতি বা আয়তন ফিরিয়া পাইতে চেষ্টা করে। পদার্থের এই ধর্মকে স্থিতিস্থাপকতা বলে।**

যে পদার্থ বেশী প্রতিরোধ করে তাহার স্থিতিস্থাপকতা বেশী। বল প্রয়োগে লোহা বা কাচের আকার বা আয়তন বেশী পরিবর্তিত হয় না, অর্থাৎ ইহাদের প্রতিরোধ বেশী। রবার সহজেই টানিয়া লম্বা করা যায়। ইহার প্রতিরোধ কম। কাজে কাজেই রবার অপেক্ষা লোহা বা কাচের স্থিতিস্থাপকতা বেশী। অথচ আমরা অনেকেই বলিয়া থাকি যে রবার বেশী স্থিতিস্থাপক। বল প্রয়োগে রবারের আকৃতি বা আয়তন অনেকখানি পরিবর্তিত করিলেও বল সরাইয়া লইলে উহা পূর্বাবস্থা পায়, কিন্তু লোহা বা কাচে অতখানি পরিবর্তন আনা যায় না বলিয়া আমরা "রবার বেশী স্থিতিস্থাপক" এই উক্তিটি করিয়া থাকি। কিন্তু উক্তিটি ঠিক নয়। আসলে লোহা বা কাচের স্থিতিস্থাপকতা বেশী। ঠিকভাবে বলিতে হইলে বলিব যে "রবারের স্থিতিস্থাপক সীমা (§ 6-3) লোহা বা কাচ অপেক্ষা বেশী।"

6-2. Strain (বিকৃতি) ও Stress (পীড়ন)—বল প্রয়োগে বস্তুর আকার বা আয়তনের পরিবর্তন সাধন করিলে বলা হয় যে বস্তুটি বিকৃত হইয়াছে (the body is strained)। বস্তুতে সৃষ্ট পরিবর্তনকে **Deformation (বিকার)** বলা হয়। আয়তনের বিকার ঘটিলে, V যদি মোট আয়তন

এবং v আয়তনের পরিবর্তন হয়, তবে $\frac{v}{V}$ আয়তনের আনুপাতিক বিকার। দৈর্ঘ্যের বিকার ঘটিলে L যদি মোট দৈর্ঘ্য এবং l দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হয়, তবে দৈর্ঘ্যের আনুপাতিক বিকার $=\frac{l}{L}$। **Strain বলিতে আনুপাতিক Deformation বুঝায়।** **Strain**-এর মান সংখ্যামাত্র, কারণ উহা একই প্রকার দুইটি রাশির অনুপাত।

বস্তুকে বিকৃত করিলে উহার মধ্যে স্থিতিস্থাপকতা-গুণে প্রতিরোধের সঞ্চার হয়। এই প্রতিরোধ প্রযুক্ত বলের প্রতিক্রিয়া এবং উহা বস্তুকে তাহার পূর্ববর্তী অবস্থায় ফিরাইয়া লইতে চেষ্টা করে। এই প্রতিরোধের নামই **Stress** (**পীড়ন**)। Stress বাহির হইতে প্রযুক্ত বলের প্রতিক্রিয়া বলিয়া নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুসারে সাম্যাবস্থায় Stress ও প্রযুক্ত বল পরস্পরের সমান ও বিপরীত। প্রতি একক বর্গক্ষেত্র পরিমাণ স্থানে প্রযুক্ত বলের যে মান তাহাকেই Stress-এর মান ধরা হয়।

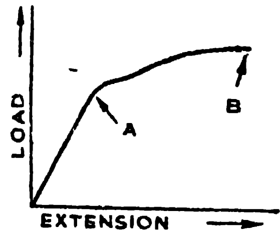
। **Hooke's law** (**হুক্‌-সূত্র**)—রবার্ট হুক্ (Robert Hooke) পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে **একটি নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম না করা পর্যন্ত বস্তুর** Stress ও Strain **পরস্পরের সমানুপাতিক**। ইহাই **হুকের সূত্র** (**Hooke's law**) নামে প্রসিদ্ধ। উক্ত সীমা বিভিন্ন বস্তুতে বিভিন্ন। সীমা অতিক্রম করিলে Stress-এর তুলনায় Strain বেশী হয় এবং প্রযুক্ত বল সরাইয়া লইলে বস্তু পূর্বতন অবস্থায় সম্পূর্ণ ফিরিয়া যায় না। কিছু স্থায়ী পরিবর্তন থাকিয়া যায়। উক্ত সীমাকে বস্তুটির **Elastic limit** (**স্থিতিস্থাপক সীমা**) বলা হয়।

একটি উদাহরণের সাহায্যে আমরা উপরের কথাগুলি আরও বিশদভাবে বুঝাইতে চেষ্টা করিব। একটি লম্বা তারের নীচে একটি ভারী ওজন বা ভার (load) ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। ওজনের জন্য তারের উপর একটি টান (tension) পড়ে। এই টানের ফলে তারের দৈর্ঘ্য বাড়িতে থাকে, কিন্তু স্থিতিস্থাপকতার গুণে তারের মধ্যে এই সঙ্গে একটি প্রতিরোধও সৃষ্ট হয়। তারের দৈর্ঘ্য যত বাড়ে প্রতিরোধও তত বাড়িতে থাকে। প্রতিরোধ বাহিরের টানের সমান হইলে সাম্য স্থাপিত হয় এবং তারটি আর লম্বায় বাড়ে না। তারের দৈর্ঘ্য L ও সাম্য অবস্থায় তারের দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন l হইলে l/L এই

অনুপাতকে তারের Strain বলা হয়। সাম্য অবস্থায় তারের ভিতরে যে প্রতিরোধের সৃষ্টি হয় তাহাই Stress। Unit area-তে প্রযুক্ত বলের মানকে Stress-এর মান ধরা হয়। প্রযুক্ত বল W এবং তারের প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফল (Area of cross-section) a হইলে

$$\text{Stress} = \frac{W}{a}$$

তারে ঝুলান ওজনটি যদি এখন তুলিয়া লওয়া হয়, তবে তারটি আবার স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া যাইবে। অন্যপক্ষে ওজন যদি ক্রমশ বাড়ান হয় তবে Strain-ও বাড়ে এবং তার ক্রমশই বেশী লম্বা হয় (6·1 চিত্রে প্রদর্শিত graph দ্বারা উহা বুঝানো হইয়াছে)। এইরূপে Strain ক্রমশ বাড়াইতে থাকিলে আমরা দেখিতে পাই যে উহা যদি একটি নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম করে (লেখ-চিত্রের A বিন্দু), তবে ওজন তুলিয়া লইলেও তারটি আর ঠিক পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে না। এই সীমাকে ঐ তারের elastic limit (স্থিতিস্থাপক সীমা) বলে। ভার (load) আরও বাড়াইতে থাকিলে তারের দৈর্ঘ্য Stress-এর তুলনায় বেশী বাড়ে এবং এক সময় এমন অবস্থা আসে যখন তারটি ছিঁড়িয়া যায় (লেখ-চিত্রের B বিন্দু)। এই অবস্থায় Stress-কে Breaking stress বলা হয়।



চিত্র 6·1

গণিতের ভাষায় হুকের সূত্র নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা যায়ঃ

$$\frac{\textbf{Stress}}{\textbf{Strain}} = \textbf{Constant} \text{ (ধ্রুব সংখ্যা)}$$

এই ধ্রুব-সংখ্যাকে **Modulus of Elasticity** বলে।

6-4. বিভিন্ন প্রকারের Strain-এর সহিত বিভিন্ন Modulus of elasticity সংযুক্ত। (1) **Bulk Modulus**—কোন বস্তুতে সকল দিক হইতে সমান চাপ দিবার ফলে উহার প্রাথমিক আয়তন V কমিয়া $V-v$ হইল। এ স্থলে আয়তনের পরিবর্তন v ও Strain v/V। বস্তুটির প্রতি একক বর্গক্ষেত্র স্থানে P বল প্রযুক্ত হইয়া থাকিলে তাহাই চাপের এবং এখানে Stress-এর মান। এই প্রকার Stress ও Strain-এর অনুপাতকে **Bulk Modulus** বলে।

Bulk Modulus $(K)=\frac{P}{v/V}$

সি. জি. এস পদ্ধতিতে P মাপা হইবে dynes/cm^2 এককে। v/V সংখ্যা মাত্র, কারণ উহা দুইটি আয়তনের অনুপাত। অতএব Bulk modulus dynes/cm^2 এককে প্রকাশিত হইবে।

(2) **Young's modulus**—L দৈর্ঘ্যের একটি তারে W বল প্রয়োগে যদি উহার দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন l হয় এবং তারের প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফল যদি a হয়, তবে

Stress $=W/\alpha$, এবং Strain $=l/L$। দৈঘ্য পরিবর্তন সংক্রান্ত এই Stress ও Strainকে longitudinal stress ও longitudinal strain বলে।

এই Stress ও Strain-এর অনুপাতকে **Young's Modulus** বলে।

∴ হুকের সূত্র অনুসারে

$$\frac{W/a}{l/L}=\text{Young's modulus } (\gamma)$$

সি. জি. এস. পদ্ধতিতে W বল dyne এককে ও প্রস্থচ্ছেদ a sq. cm এককে প্রকাশ করা হয়। l/L সংখ্যা মাত্র, কারণ উহা দুইটি দৈর্ঘ্যের অনুপাত। অতএব Young's modulus dynes/cm^2 এককে প্রকাশিত হইবে।

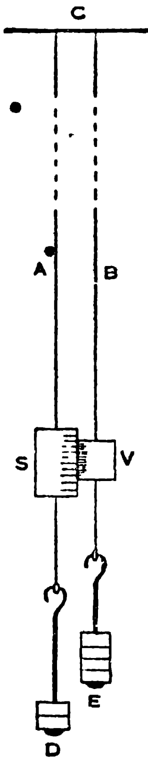
বল প্রয়োগ করিলে বস্তুর deformation কিরূপ হইবে তাহা বলের প্রয়োগবিধি ও বস্তু উভয়ের উপর নির্ভর করে। একটি সরল দণ্ডের দুই প্রান্ত আটকাইয়া বা ঠেকা দিয়া উহাকে অনুভূমিক রাখিয়া দণ্ডের মধ্যখানে যদি ভার ঝুলান যায়, তাহা হইলে দণ্ডটি বাঁকিয়া যাইবে। প্রাথমিক অবস্থান হইতে দণ্ডের যে কোন বিন্দু কতটা বিচ্যুত (depressed) হইয়াছে তাহা প্রযুক্ত ভারের সমানুপাতিক। দণ্ডের মধ্যবিন্দুতে বিচ্যুতি সবচেয়ে বেশী। এই বিচ্যুতি বিচার করিতে Young's modulusএর সাহায্য লইতে হয় এবং এই বিচ্যুতি মাপিয়া উহা নির্ণয় করা যায়। দণ্ডটির প্রস্থচ্ছেদ আয়তাকার (rectangular) হইলে যে কোন বিন্দুর বিচ্যুতি দণ্ডের বেধের (thickness-এর) ঘনফলের বিষমানুপাতিক হয়; অর্থাৎ বেধ দ্বিগুণ হইলে বিচ্যুতি পূর্বের তুলনায় এক-অষ্টমাংশ হয়। এইজন্য বাড়ীর ছাদের নীচে কড়িকাঠগুলির বিস্তারের (Breadth) তুলনায় বেধ বেশী থাকে।

এক টুকরা তারের একপ্রান্ত আবদ্ধ রাখিয়া অন্যপ্রান্তে মোচড় (twist) দিলে

তারটি পাক খাইয়া যায়। মোচড়ের জন্য দ্বন্দ্ব (couple) প্রয়োগ করিতে হয়। মোচড়ান প্রান্তের কৌণিক বিচ্যুতি খুব বেশী না হইলে উহার মান প্রযুক্ত দ্বন্দ্বের সমানুপাতিক।

সর্পিল (helical) স্প্রিংএর অক্ষ বরাবর টান (tension) প্রয়োগ করিলে স্প্রিংএর দৈর্ঘ্য বাড়ে। প্রযুক্ত বল একটা সীমা অতিক্রম না করিলে এই বৃদ্ধি প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক। স্প্রিংএর এই ধর্মের জন্য স্প্রিং তুলা ব্যবহার সম্ভব হয় এবং ইহার সাহায্যে বলও মাপা যায়। নির্দিষ্ট বলে স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য কতটা বাড়িল তাহা দেখিয়া যন্ত্রের গায়ে দাগ কাটা হয়।

6-5. Determination of Young's Modulus (ইয়ংএর গুণাঙ্ক নির্ণয়)—যে পদার্থের গুণাঙ্ক বাহির করিতে হইবে তাহার দুই গাছি তার A ও B (6.2 চিত্র) একই অনুভূমিক সমতল C হইতে পাশাপাশি ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। A তারের নীচে S স্কেল আঁটা আছে। D পাল্লায় ওজন বসাইয়া প্রথমে A তারটিকে টান করিয়া লওয়া হইল। B তারের নীচে V ভার্নিয়ার আঁটা আছে। ভার্নিয়ারটি স্কেলের ঠিক পাশে লাগান, যাহাতে V কত উঠা-নামা করিতেছে তাহা ভার্নিয়ার ও স্কেলের সাহায্যে পড়া যায়। B তারের দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন মাপিয়া ইয়ংয়ের গুণাঙ্ক বাহির করিতে হইবে। প্রথমে E পাল্লায় ওজন চাপাইয়া B তারকেও টান করিয়া লওয়া হইল। তাহার পর একটি লম্বা কাঠির সাহায্যে B তারের মোট দৈর্ঘ্য (C হইতে V এর উপর পর্যন্ত) মাপা গেল। এইবার E পাল্লায় একটি ওজন বসাইয়া ওজনের জন্য B কতটা লম্বা হয় তাহা ভার্নিয়ারের সাহায্যে পড়িয়া লওয়া গেল। এইরূপে বিভিন্ন ওজন চাপাইয়া প্রত্যেকের জন্য Bর বৃদ্ধি মাপা হইল। একটি ছক কাগজে ওজন ও দৈর্ঘ্যবৃদ্ধির লেখ আঁকিলে আমরা 6·3 চিত্রের ন্যায় একটি সরলরেখা পাইব। ইহা হইতে W ওজন চাপাইলে তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি কতখানি হয় তাহা আমরা জানিতে পারি। ধরা যাউক W ওজনের জন্য বৃদ্ধি l। এইবার একটি স্ক্রু-গেজের (Screw

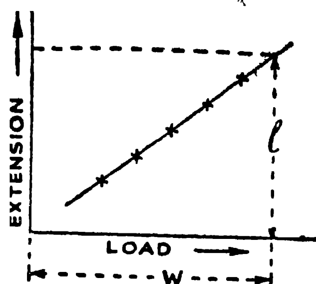


চিত্র 6·2

gauge) সাহায্যে তারের ব্যাস মাপিয়া তাহা হইতে উহার ব্যাসার্ধ বাহির করা হইল। তারের প্রস্থচ্ছেদ πr^2 এবং stress $W/\pi r^2$। W ওজনের জন্য stress l/L।

$$\therefore \; Y = \frac{W/\pi r^2}{l/L} = \frac{WL}{\pi r^2 l}$$

W, r, l ও L জানা থাকায় Y বাহির করা যাইবে।



চিত্র 63

উদাহরণ ঃ দুই মিটার লম্বা এবং এক মিলিমিটার ব্যাসবিশিষ্ট একটি লোহার তারের এক প্রান্তে আট কিলোগ্রাম ওজনের একটি ভর ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। তারের দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি এক মিলিমিটার হইলে তারের উপাদানের Young's Modulus কত?

এ ক্ষেত্রে $W = mg = 8000 \times g = 8000 \times 980$ dynes

প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফল $= \alpha = \pi r^2 = 0025\pi$ sq cm

তারের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য $= L = 200$ cm

দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি $= l =$ 1 cm

$$\text{Strain} = \frac{l}{L} = 0{\cdot}1/200$$

$$\text{Stress} \quad \frac{W}{\alpha} = \frac{8000 \times 980}{\pi \times 0025} \frac{\text{dynes}}{\text{cm}^2}$$

$$Y = \frac{W/\alpha}{l/L} = \frac{8000 \times 980}{0025\pi} \times \frac{200}{0\ 1}$$

$$= 1\ 995 \times 10^{12} \text{ dynes/cm}^2.$$

Exercises

1. Explain the terms 'stress' and 'strain'. In what units are they expressed?

2. Define the terms elastic limit and breaking stress. State Hooke's law

Is it correct to say that rubber is more elastic than glass? Give reasons for your answer.

3. Explain the terms modulus of elasticity and Young's modulus. What are the units in which stress, strain and Young's modulus are expressed in the cgs. system of units?

4. What must be the elongation of a wire 5 metres long so that the strain is 0·1 of 1% ? If the wire has a cross-section of 1 sq. mm and is stretched by a load of kg. weight, what is the stress ?

[*Ans :* 5 mm ; $9{\cdot}8 \times 10^{9}$ dynes/cm².]

5. A spiral spring stretches 2·5 inches when loaded with a 2lb weight. How much would a 1·5 lb weight cause it to lengthen ? What weight would stretch it 1·75 inches ? [*Ans :* 1·875 in ; 1·4 lb.]

6. Soft copper is found to stretch 1 part in a million when loaded with 1 kg per sq. cm. Calculate its Young's modulus.

How much will a copper bar, 3 cm in diameter and 10 metres long, stretch under a load of 100 kg ? [*Ans :* $9{\cdot}8 \times 10^{11}$ dynes/cm² ; 14 mm.]

7. If the breaking stress of steel is 150,000 pounds per square inch calculate the diameter in inches of a wire wich will support a fifty pound ball, allowing a factor of safety of 3.

[*Note :* A factor of safety of 3 means that the applied load has to be increased three times before the wire breaks. [*Ans :* ·0178 in.]

8. Define Bulk Modulus. Calculate the Bulk Modulus of glycerine, given that a litre of this liquid contracts 0·245 c.c. when subjected to a pressure of 10 kg. per sq. cm. [*Ans :* 4×10^{10} dynes/cm².]

9. A spiral spring of length 100 cm stretches 0·2 cm when loaded with 16kg. If both the length and the load are halved, what will be the elongation ? [*Ans :* 0·05 cm.]

10. A steel anchor cable of cross-section 3·14 sq. inch is lowered into water. If the breaking stress of steel is 60,000 lb/sq. inch, calculate the length of the cable that can be lowered with a factor of safety of 4. Given, effective density of steel = 400 lb/cu. ft. [*Ans :* 5400 ft.]

11. In driving a ship at 15 mph her engines develop 2000 hp. If the propeller shaft is 300 ft. in length and 30 sq. in. in cross-section, compute the shortening of the shaft when Young's modulus = 30×10^{6} lb/in².

[*Ans :* 0·2 in.]

12. State Hooke's law and define the terms stress, strain, elastic limit and breaking strength. (C. U. '48, '53, '55)

A plank supported at the ends bends 2 inches when a load of 50 pounds is placed at its middle point. How much will it bend under a load of 75 lb ? What load would be required to bend it 3·5 inches ? (C. U. '48.)

13. State Hooke's law and define Young's modulus. Describe a laboratory arrangement for finding Young's modulus of steel wire. (C. U. '53, 55.)

A wire of 0·4 cm diameter is loaded with 25 kg. A length of 100 cm is found to be extended to 102 cm. Calculate Young's modulus of the material of the wire. (C. U. '53.) [*Ans.* : 10^{4} kg. wt./cm² nearly.]

A piece of steel is highly elastic, but a piece of rubber is not so elastic. Explain this statement. (C. U. '55.)

14. Define Young's modulus and describe how you would measure it for the material of a wire, explaining the precautions necessary to ensure accuracy. A uniform steel wire of density 7·8 gm per c. c. weighs 16 gm and is 250 cm long. It lengthens by 1·2 mm when stretched by a force of 8 kg. wt. Calculate the value of Young's modulus for the steel.

(*Gau. Univ.* '53). [*Ans* : $1 \cdot 99 \times 10^{12}$ dynes/cm^2.]

15. State Hooke's law and explain what is meant by stress, strain and coefficient of elasticity. Classify the various types of strain and stress, and write down the names of the corresponding coefficients of elasticity.

(*Gau. Univ.* '55).

[*Note* : Modulus of elasticity and coefficient of elasticity mean the same.]

16. Upon what factors does the stretch of a wire depend ? Can you connect them by a law ? What do you mean by elongation, Young's modulus and tensile strength ? How would you determine Young's modulus for a steel wire ? Find the tension in a steel wire 2 metres long, 1 mm in diameter, when it is stretched by 1 mm. Given, Young's modulus for steel$=2 \times 10^{12}$ dynes/cm^2. (*Gau. Univ.* '57.). [*Ans* : $7 \cdot 85 \times 10^6$ dynes.]

17. Define 'Longitudinal Stress', 'Longitudinal Strain' and Young's modulus'.

Derive the unit in which Young's modulus should be expressed in the c. g. s. system.

Find the load, in kilograms, required to stretch a vertical steel wire, 628 cm. long and 2mm in diameter, by *one* more millimetre in length. *Y* for steel$=2 \times 10^{12}$ c.g.s. units and $g=980$ c. g. s. units. [*Ans* : 10 2kg.]

(*Higher Secondary Exam*, '60 ; *West Bengal*)

সপ্তম পরিচ্ছেদ

উদস্থিতি-বিদ্যা

(Hydrostatics)

7-1. তরল ও বায়বীয় পদার্থের সাম্য অবস্থার ধর্ম আলোচনাই Hydrostatics-এর মুখ্য উদ্দেশ্য। উহাদের দ্বারা প্রযুক্ত বলের অধীনে অন্য বস্তুর সাম্য প্রভৃতির আলোচনাও ইহার অন্তর্গত।

Hydrostatics দুইটি মূল সূত্রের উপর প্রতিষ্ঠিত, যথা—

(1) তরল বা গ্যাসের সংস্পর্শে অবস্থিত যে কোন ক্ষেত্রের উপর তরল বা গ্যাসীয় পদার্থ লম্ব ভাবে চাপ দেয়, এবং

(2) বদ্ধপাত্রে অবস্থিত তরল বা গ্যাসের উপর চাপ প্রয়োগ করিলে এই চাপ মান অপরিবর্তিত রাখিয়া তরল বা গ্যাসের সর্বত্র সঞ্চালিত হয়। এই সূত্রকে প্যাস্কালের সূত্র (Pascal's law) বলে।

Hydrostatics-এ তরল ও গ্যাস উভয় পদার্থের আলোচনা একসঙ্গে করা হইলেও আমরা সুবিধার জন্য তাহাদের পৃথক আলোচনা করি। বর্তমান পরিচ্ছেদে তরলের এবং পরবর্তী পরিচ্ছেদে গ্যাসের আলোচনা করা হইবে।

এই দুই পরিচ্ছেদের আলোচনায় 'কোন এক বিন্দুতে তরল বা গ্যাসের 'চাপ' বলিতে কি বুঝায় সে সম্বন্ধে পরিষ্কার জ্ঞান থাকা প্রয়োজন। সেইজন্য 'চাপ' কথাটির অর্থ এবং বলের সঙ্গে তাহার কি প্রভেদ এই আলোচনাই প্রথমে করা হইবে।

7-2. Pressure and Force (চাপ ও বল)—বল ও চাপের প্রভেদ বুঝিতে পারা কিছু কঠিন নহে। হাতের উলটা দিকে একবার পেনসিলের মোটা দিক এবং আর এক বার সরু দিক একই বলে চাপিয়া ধর। দুই বারের অনুভূতি দুই রকম হইবে। পেনসিল সুঁচালো হইলে দ্বিতীয় বারে সম্ভবতঃ বেশ ব্যথা অনুভব করিবে। দুইবারই তুমি একই বল প্রয়োগ করিয়াছ। কিন্তু অনুভূতির তফাৎ হইল কেন? বল কতখানি ক্ষেত্র জুড়িয়া ক্রিয়া করিয়াছে তাহা দেখিলেই এই প্রশ্নের উত্তর পাইবে। দ্বিতীয় বারে একই বল খুব অল্প ক্ষেত্রের

উপর ক্রিয়া করিয়াছে। অতএব প্রথম বারের তুলনায় দ্বিতীয় বারে বলের তীব্রতা বা চাপ বেশী।

কোন বল কোন ক্ষেত্রের উপর লম্বভাবে ক্রিয়া করিলে ক্ষেত্রের প্রতি একক বর্গ পরিমিত স্থানে যে বল প্রযুক্ত হয় তাহাকে Pressure (চাপ) বলে।

$$\text{Pressure (চাপ)} = \frac{\text{Force (বল)}}{\text{Area (ক্ষেত্রফল)}}$$

পেরেকের মুখ মোটা থাকিলে উহাকে কাঠের মধ্যে ঢুকাইতে অনেক জোরে হাতুড়ি মারা দরকার। কিন্তু মুখ সরু থাকিলে অল্প জোরেই কাজ হয়। মুখ সরু থাকায় নির্দিষ্ট বলে বেশী চাপের সৃষ্টি হয়।

আমরা যখন সোজা হইয়া দাঁড়াইয়া থাকি তখন দেহের ওজন দু পায়ের উপর সমান ভাবে পড়ে। এক পাযে দাঁড়াইলে পূর্বের তুলনায় পায়ের উপরে চাপ দ্বিগুণ হয়। চাপের এই প্রভেদজনিত ফল সহজেই টের পাওয়া যায়।

পরবর্তী আলোচনায় আমরা 'কোন এক বিন্দুতে চাপ' এই কথাটি অনেক স্থলে ব্যবহার করিব। এই কথায় আসলে ঐ বিন্দুর চতুর্দিকস্থ একক ক্ষেত্রে যে বল ক্রিয়া করে তাহাই বুঝায়।

চাপের একক—চাপের এককে বল ও ক্ষেত্রফল উভয়ের এককের প্রয়োজন হয়। সি-জি-এস্ পদ্ধতিতে বলের একক ডাইন ও ক্ষেত্রফলের একক বর্গ সে-মি। অতএব চাপের একক হইবে **প্রতি বর্গ-সেণ্টিমিটারে এক ডাইন** বা 1 $dyne/cm^2$। বল পাউণ্ডালে ও ক্ষেত্রফল বর্গফুটে মাপিলে এফ-পি এস্ পদ্ধতিতে চাপের একক **প্রতি বর্গ-ফুটে এক পাউণ্ডাল** বা 1 $poundal/ft^2$।

তিন ইঞ্চি বাহুবিশিষ্ট বর্গক্ষেত্রের উপর 15 lb ওজন চাপান থাকিলে

$$\text{চাপ} = \frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{15\ \text{lb. wt}}{9\ \text{sq. in}} = \frac{15}{9}\text{lb. wt/in}^2\ ;$$

চাপ এভাবেও প্রকাশ করা যায়। আবার এফ-পি-এস্ এককে 15 lb. wt = 15×32 poundals এবং 9 sq. in $= \frac{9}{144}$ sq. ft।

$$\therefore \frac{15\ \text{lb. wt}}{9\ \text{in}^2} = \frac{15 \times 32 \times 144}{9}\text{poundals/sq. ft}$$

উদাহরণ ঃ 1 ton/ft^2 চাপকে $dyne/cm^2$ ও kg.wt/sq.metre-এ প্রকাশ কর।

1 ton-wt = 2240 lb. wt = 2240 × ·4536 kg.wt = 1016 kg. wt.

1 ton-wt = 2240 lb. wt = 2240 × 453·6 gm. wt

$= 2240 \times 453{\cdot}6 \times 980$ dynes $= 9{\cdot}956 \times 10^8$ dynes.

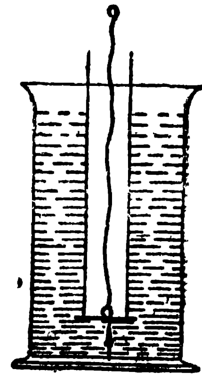
1 sq.ft. = 30·48 × 30·48 sq.cm = 929 sq.cm = ·0929 sq. metre.

$$1\ \frac{ton}{ft^2} = \frac{9{\cdot}956.10^8}{929} = 1{\cdot}072 \times 10^6\ \frac{dynes}{cm^2}$$

$$\text{বা}\ \frac{1016}{{\cdot}0929} = 1{\cdot}093 \times 10^4\ \frac{kg.wt}{sq.metre}$$

7-3. তরলের সংস্পর্শে অবস্থিত ক্ষেত্রের উপর তরল লম্বভাবে বল প্রয়োগ করে—তরল যে আধারে থাকে তাহার দেওয়ালে চাপ দেয়। তরলে কোন বস্তু নিমজ্জিত থাকিলে তাহার উপরেও তরলের চাপ পড়ে। সংক্ষেপে বলা যায় যে **তরলের সংস্পর্শে অবস্থিত যে কোন ক্ষেত্রের (Surface) উপরে তরল চাপ দেয়। এই চাপ সর্বদাই ক্ষেত্রের উপর লম্বভাবে ক্রিয়া করে।** আমরা নিম্নলিখিত পরীক্ষাদ্বারা ইহা বুঝিতে পারি।

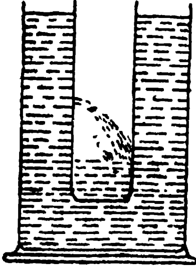
(1) **আধারের দেওয়ালের উপর চাপ**—কোন একটি জলপূর্ণ পাত্রের গায়ে ছিদ্র করিলে পাত্র হইতে জল ছিটকাইয়া বাহির হইবে। জল পাত্রের গায়ে চাপ দিতেছে বলিয়াই এরূপ সম্ভব। পাত্রের দেওয়াল জলের চাপ প্রতিরোধ করে। যেখানে দেওয়ালে ছিদ্র আছে, সেখানে এই প্রতিরোধ নাই বলিয়া চাপের জন্য জল বাহির হইয়া আসে।



চিত্র 7·1

(2) **তরলে নিমজ্জিত ক্ষেত্রের উপর চাপ**—দুই মুখ খোলা একটি কাচের মোটা নলের নীচের মুখ একটি ধাতুর বা কাচের পাত দিয়া নিশ্ছিদ্র ভাবে বন্ধ করা যায়। এই পাতের সহিত (7·1 চিত্র) একগাছি সুতা লাগান আছে। সুতা টানিয়া রাখিলে পাতলা পাতটি নলের সহিত লাগিয়া থাকে, আর সুতা ছাড়িয়া দিলে উহা পড়িয়া যায়। সুতাগাছি

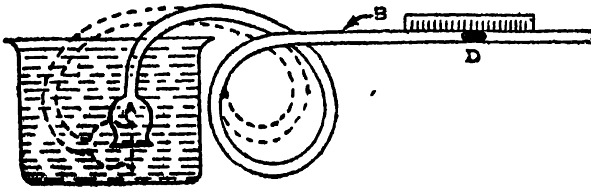
ভাল করিয়া টানিয়া ধরিয়া নলটি ঠিক খাড়াভাবে জলের মধ্যে খানিকটা ঢুকান হইল। এইবার সুতা ছাড়িয়া দিলেও পাত পড়িয়া যাইবে না। জলের চাপ উহাকে ঠেলিয়া নলের সহিত লাগাইয়া রাখিবে।


চিত্র 7 2

(3) **তরল পদার্থের চাপ ক্ষেত্রের উপর লম্বভাবে ক্রিয়া করে**—উপরের প্রথম পরীক্ষায় লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, ছিদ্র দিয়া জল পাত্রের গায়ের সহিত লম্বভাবে বাহির হইতেছে। ইহা হইতে সহজে বুঝা যায় যে ঐ স্থানে জলের চাপ পাত্রের গায়ের লম্ব দিকে ক্রিয়া করে।

পাতলা দেওয়ালবিশিষ্ট একটি ফাঁপা পাত্র লওয়া হইল। উহার পাশে একটি ছিদ্র আছে। পাত্রটি জলের মধ্যে এরূপভাবে ডুবান হইল যে ছিদ্রটি যেন জলের অনেকটা নীচে থাকে (7·2 চিত্র)। জলের মধ্যে অবস্থানের জন্য পাত্রের গায়ে জলের চাপ পড়িবে এবং ছিদ্র দিয়া জল উহার ভিতর প্রবেশ করিবে। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে জলের রেখা ঐস্থানে পাত্রের দেওয়ালের লম্বভাবে প্রবেশ করে। ইহা হইতে বুঝা যায় যে জলের মধ্যে অবস্থিত ক্ষেত্রের উপর জলের চাপ ক্ষেত্রের লম্ব দিকে।

7-4. কোন বিন্দুতে তরলের চাপ সর্বমুখী এবং সমান—7·3 চিত্রে B সরু ছিদ্রবিশিষ্ট একটি কাচের নল। উহার এক মুখ রবারের নলের সাহায্যে একটি কাচের কুপী বা ফানেল (Funnel) Aএর সহিত লাগান হইয়াছে। কুপীর মুখ পাতলা রবার দিয়া আটকান। নলেব গায়ে একটি



চিত্র 7·3

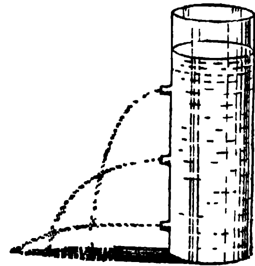
স্কেল আঁটা আছে এবং নলের মধ্যে রঙ্গীন কোন তরল পদার্থের সামান্য একটুখানি ঢুকাইয়া দেওয়া আছে (চিত্রে উহাকে D দ্বারা নির্দেশ করা হইয়াছে)।

এখন যদি কুপীর রবারের উপর হাত দিয়া একটু চাপ দেওয়া যায় তাহা হইলে D একদিকে সরিয়া যাইবে। চাপ কমাইলে বা বাড়াইলে D কম বা বেশী সরে। অতএব Dকে আমরা কুপীর রবারের উপর চাপের সূচক (Index) হিসাবে ব্যবহার করিতে পারি।

B অনুভূমিক রাখিয়া কুপীর মুখ নীচু করিয়া উহাকে একটি তরল পদার্থপূর্ণ পাত্রের মধ্যে ডুবাইলে দেখা যাইবে সূচক D উহার পূর্বতন স্থান হইতে সরিয়া গিয়াছে। ইহাদ্বারা প্রমাণিত হয় যে তরল পদার্থ ঊর্ধ্বদিকে চাপ দেয়। কুপীর মুখ ভিন্ন ভিন্ন দিকে ঘুরাইয়া তরল পদার্থে বিভিন্ন দিকে চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করা যাইতে পারে।

এইবার **কুপীর মুখের মধ্যবিন্দু স্থির রাখিয়া** যদি আমরা কুপী একবার ঊর্ধ্বমুখী, একবার নিম্নমুখী, একবার পার্শ্বমুখী, এইরূপ বিভিন্ন অবস্থানে রাখি, তবে দেখিব যে D সূচকটি স্থির আছে। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, যে কোন বিন্দুতে তরল পদার্থের চাপ সব দিকেই সমান।

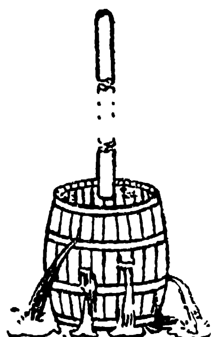
কুপীর মুখের উপরি-উক্ত মধ্যবিন্দু জলের তলায় একই গভীরতায় রাখিয়া যদি কুপীটিকে একস্থান হইতে অন্যস্থানে লওয়া যায় তবে দেখা যাইবে যে D সরিতেছে না, অর্থাৎ চাপ সমানই আছে। কিন্তু গভীরতার পরিবর্তন করিলে অমনই D সরিয়া প্রমাণ করিবে যে চাপ পরিবর্তিত হইয়াছে। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে নির্দিষ্ট তরল পদার্থে চাপ কেবলমাত্র গভীরতার উপরই নির্ভর করে।



চিত্র 7·4

চাপ গভীরতার উপর নির্ভর করে, ইহার সমর্থনে আমরা একটি সহজ পরীক্ষা বর্ণনা করিতে পারি। একটি জলপূর্ণ পাত্রের গায়ে যদি বিভিন্ন গভীরতায় ছিদ্র করা যায় তবে দেখা যাইবে যে সর্বনিম্ন ছিদ্রটি হইতেই জল সর্বাপেক্ষা জোরে বাহির হইতেছে (চিত্র 7·4)। ইহাদ্বারা বুঝা যায় যে গভীরতা যত বেশী হয় চাপও ততই বাড়ে।

চাপ যে কেবলমাত্র গভীরতার উপরই নির্ভর করে এবং জলের পরিমাণের উপর করে না তাহা প্যাস্কাল-এর (Pascal) নিম্নলিখিত পরীক্ষা


চিত্র 7·5

হইতেই দেখা যাইতে পারে। সবদিক-বন্ধ একটি পিপার উপর একটি লম্বা নল লাগান আছে (7·5 চিত্র)। পিপাটি জলপূর্ণ করিয়া নলের মধ্যে জল ঢালা হইতে লাগিল। নলটি যথেষ্ট লম্বা থাকিলে দেখা যাইবে উহাতে জল ঢালিতে ঢালিতে এক সময় পিপাটি ফাটিয়া যাইবে। নলের মধ্যে জলের পরিমাণ কম হইলেও উচ্চতার জন্য উহা পিপার উপরে খুব বেশী চাপ দিয়া থাকে। তাই নলে জল কম থাকা সত্ত্বেও জলের চাপ বেশী বলিয়া পিপা ফাটিয়া যায়।

7-5. তরলের চাপের পরিমাণ—নির্দিষ্ট গভীরতায় তরল পদার্থের চাপ কত হইবে তাহা নিম্নলিখিতরূপে বাহির করা যায়।

মনে কর একটি বেলনাকৃতি (cylindrical) পাত্রে খানিকটা জল আছে। জলের ওজন আছে বলিয়া পাত্রের তলদেশে বল ক্রিয়া করিবে। ধরা যাউক তলদেশ অনুভূমিক ও সমতল এবং পাত্রের দেওয়াল তলের লম্বভাবে অবস্থিত। এক্ষেত্রে জলের ওজন সম্পূর্ণভাবে তলদেশের উপর ক্রিয়া করিবে।

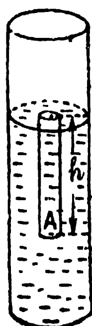
মনে কর জলের গভীরতা h, ঘনত্ব ρ, পাত্রের প্রস্থচ্ছেদ-ক্ষেত্রফল α এবং অভিকর্ষজ ত্বরণ g। তাহা হইলে জলের আয়তন $=\alpha h$, ভর $=\alpha h\rho$ এবং ভার $=\alpha h\rho g$।

এই ভার α ক্ষেত্রফলের উপর ক্রিয়া করে। সুতরাং প্রতি একক বর্গক্ষেত্রে বলের পরিমাণ, অর্থাৎ পাত্রের তলদেশের উপরে চাপ

$$P=\alpha h\rho g \div \alpha = h\rho g$$

(জলের পরিবর্তে অন্য কোন তরল থাকিলে ρ সেই তরলের ঘনত্ব বুঝাইবে।)

তরল পদার্থের মধ্যে অবস্থিত যে কোন বিন্দু Aতে (7·6 চিত্র) চাপ বাহির করিতে হইলে ঐ বিন্দুর সহিত একই অনুভূমিক সমতলে অবস্থিত একটি একক বর্গক্ষেত্র কল্পনা করা যাউক। বিন্দুটি এই বর্গক্ষেত্রের অন্তর্গত। এই ক্ষেত্রের উপরে যে বল ক্রিয়া করে তাহা উহার উপরস্থ তরল



চিত্র 7·6

পদার্থের ওজনের সমান। তরল পদার্থের ঘনত্ব ρ ও উহার উপরিভাগ হইতে A বিন্দুর দূরত্ব h হইলে ক্ষেত্রের উপরস্থ তরল পদার্থের আয়তন $= h \times 1$, ভর $h\rho$ এবং ওজন $h\rho g$। সুতরাং ঐ বিন্দুতে চাপ অর্থাৎ একক বর্গক্ষেত্রের উপর ক্রিয়াশীল বল হইবে

$$P = h\rho g \qquad (7{\cdot}1)$$

অর্থাৎ **চাপ = গভীরতা × তরলের ঘনত্ব × অভিকর্ষজ ত্বরণ।**

7-6. Pressure ও Thrust—আমরা এতক্ষণ বলিয়া আসিয়াছি যে তরলের সংস্পর্শে অবস্থিত যে কোন ক্ষেত্রের উপরেই "চাপ" পড়ে। "চাপ" বলিতে একক বর্গক্ষেত্রের উপরে ক্রিয়াশীল বল বুঝায়। কোন ক্ষেত্রের উপরে তরলের চাপের জন্য মোট যে বল ক্রিয়া করে তাহাকে Thrust বলে। চাপ সমান থাকিলে

Thrust = চাপ × ক্ষেত্রফল।

চাপ অসমান হইলে

Thrust = গড় চাপ × ক্ষেত্রফল।

উদাহরণ (1) 100 ft জলের নীচে চাপ প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে কত পাউণ্ড ?

চাপ = গভীরতা × ঘনত্ব × অভিকর্ষজ ত্বরণ

$$= 100 \text{ ft} \times \frac{62{\cdot}5 \text{ lb}}{1 \text{ ft}^3} \times g = 6250 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \times g.$$

$$= \frac{6250}{144} \cdot \frac{\text{lb. wt.}}{\text{in}^2} \quad (\text{যেহেতু } 1 \text{ lb} \times g = 1 \text{ lb. wt})$$

(2) 76 সে-মি পারার নীচে চাপ প্রতিবর্গ সে-মি-তে কত ডাইন ?

$$\left(\text{পারার ঘনত্ব} = 13{\cdot}6 \frac{\text{gm}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$\text{চাপ} = 76 \text{ cm} \times 13{\cdot}5 \frac{\text{gm}}{\text{cm}^3} \times 980 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$$

$$= 76 \times 13{\cdot}6 \times 980 \frac{\text{gm cm/sec}^2}{\text{cm}^3}$$

$$= 1{\cdot}014 \times 10^6 \text{ dynes/cm}^2$$

(3) সমুদ্রের জল বিশুদ্ধ জলের তুলনায় 1·03 গুণ ভারী। 6′ × 6′ ভূমি বিশিষ্ট একটি পাত্রে সমুদ্রের জল 5 ft গভীর করিয়া রাখা আছে ; পাত্রের তলদেশে মোট thrust কত তাহা পাউণ্ড ভরে বাহির কর।

Thrust = চাপ × ক্ষেত্রফল।

এক্ষেত্রে চাপ $= 5 \text{ ft} \times 1{\cdot}03 \times \dfrac{62{\cdot}5 \text{ lb}}{\text{ft}^3} \times g$

$$= 5 \times 1{\cdot}03 \times 62{\cdot}5 \ \frac{\text{lb.wt}}{\text{ft}^2}$$

এবং ক্ষেত্রফল $= 6 \text{ ft} \times 6\text{ft} = 36$ sq. ft ।

$$\therefore \text{ Thrust} = 5 \times 1{\cdot}03 \times 62{\cdot}5 \ \frac{\text{lb.wt}}{\text{ft}^2} \times 36 \text{ ft}^2$$

$$= 5 \times 1{\cdot}03 \times 62{\cdot}5 \times 36 \text{ lb.wt} = 1{\cdot}159 \times 10^4 \text{ lb.wt.}$$

কোন তরলের আধারের দেওয়ালে যে চাপ পড়ে তাহা গভীরতার সহিত ক্রমশ বাড়িতে থাকে। জলের পৃষ্ঠ হইতে h গভীরতা পর্যন্ত আধারের দেওয়ালের উপরে যে **গড় চাপ,** তাহা $h/2$ গভীরতার চাপের সমান, অর্থাৎ গড় চাপ $= \frac{1}{2} h\rho g$ ।

আধারের দেওয়ালের ক্ষেত্রফল a হইলে আধারের উপর মোট thrust $= \frac{1}{2} h\rho g \times a$

উদাহরণ : (1) 20 cm লম্বা, 10 cm চওড়া ও 15 cm উঁচু একটি পাত্র জলপূর্ণ করা হইল। উহার এক পার্শ্বস্থ লম্বা দেওয়ালে thrust কত তাহা গ্রাম-ভারে বাহির কর।

দেওয়ালের ক্ষেত্রফল $= 20 \times 15$ sq.cm

গড় চাপ $= \frac{1}{2} \times 15 \times 1 \times 980$ dynes/sq.cm

$\therefore$ Thrust অর্থাৎ মোট বল $= 20 \times 15 \times \frac{1}{2} \times 15 \times 980$ dynes

$= 2250 \times 980$ dynes

$= 2250$ gm. wt

অর্থাৎ 2250 গ্রামের যে ওজন, পাত্রে জল থাকার জন্য দেওয়ালের উপর সেই পরিমাণ বল ক্রিয়া করে।

(2) 40 ft চওড়া একটি খালে বাঁধ দেওয়া হইল। জলের গভীরতা 15 ft হইলে জলের জন্য বাঁধের উপর মোট thrust কত ? জলের পৃষ্ঠ হইতে 5 ft, 10 ft ও 15 ft নীচে বাঁধের উপর চাপ কত ?

বাঁধের উপরে thrust = গড় চাপ × ক্ষেত্রফল ; যেহেতু গভীরতা 15 ft সুতরাং গড় চাপ $\frac{15}{2}$ ft গভীরতার চাপের সমান। অতএব thrust

$$= \frac{15}{2} \text{ft} \times 62{\cdot}5 \ \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \times 15 \text{ ft} \times 40 \text{ ft} \times g$$

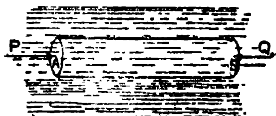
$$= 281250 \text{ lb. wt} = 125{\cdot}5 \text{ ton-wt.}$$

5ft নীচে চাপ $= 5 \text{ ft} \times 62{\cdot}5 \ \dfrac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \times g = 312{\cdot}5 \ \dfrac{\text{lb. wt}}{\text{ft}^2}$

অনুরূপে দেখা যায় 10 ft নীচে চাপ ইহার দ্বিগুণ ও 15 ft নীচে তিনগুণ।

[দ্রষ্টব্য : গভীরতার সহিত চাপ বাড়ে বলিয়া বাঁধের নীচের দিক ক্রমশ বেশী মোটা হওয়া দরকার। সাধারণ বাঁধের প্রস্থচ্ছেদ সমকোণী ত্রিভুজের মত হয় ; ভূমি নীচের দিকে।]

7-7. তরলের অভ্যন্তরস্থ অনুভূমিক সমতলে চাপ সর্বত্র সমান—ধরা যাউক সাম্যে অবস্থিত কোন তরলের অভ্যন্তরে A ও B একই অনুভূমিক তলে অবস্থিত দুইটি বিন্দু (7·7 চিত্র)। ABকে অক্ষ (Axis) করিয়া একটি সরু অনুভূমিক স্তম্ভক কল্পনা করা যাউক। এই স্তম্ভকের প্রস্থচ্ছেদ-ক্ষেত্রফল a খুব ছোট, এবং উহার দুই প্রান্ত ABর লম্বভাবে অবস্থিত। মনে করা যাউক স্তম্ভকের A ও B প্রান্তে তরলের চাপ যথাক্রমে P এবং Q। এই চাপ প্রান্তের লম্বভাবে AB অক্ষের সমান্তরালে ক্রিয়া করে। স্তম্ভকের বক্রতলে যে বল ক্রিয়া করে তাহা ঐ তলের লম্বদিকে, অর্থাৎ অক্ষ ABর অভিলম্বে। সুতরাং AB অভিমুখে এই বলের কোন উপাংশ নাই। AB রেখায় মাত্র দুইটি বল ক্রিয়া করে—একটি AB অভিমুখে Pa বল, এবং অন্যটি BA অভিমুখে Qa বল। স্তম্ভকটি সাম্যে আছে বলিয়া $Pa - Qa = 0$;



চিত্র 7·7

অর্থাৎ $$P = Q$$

ইহা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে সাম্যে অবস্থিত তরলের যে কোন অনুভূমিক সমতলে চাপ সর্বত্র সমান।

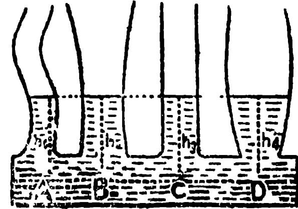
7-8. সাম্য অবস্থায় তরল পদার্থের উপরিস্থ তল অনুভূমিক—তরল পদার্থ সাম্যে থাকিলে উহার উপরের তল অনুভূমিক হয়। নিম্নলিখিত রূপে আমরা ইহার কারণ নির্দেশ করিতে পারি। যদি সম্ভব হয় তাহা হইলে ধরা যাউক যে জলের উপরিস্থ তল অনুভূমিক নয় এবং উহা 7·8 চিত্রের অনুরূপ। A ও B উহার মধ্যস্থিত একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থিত দুইটি বিন্দু। Aর গভীরতা h_1 ও Bর গভীরতা h_2। A বিন্দুতে চাপ $h_1\rho g$ এবং B বিন্দুতে চাপ $h_2\rho g$। এখন যদি $h_1 > h_2$ হয় তবে A বিন্দুতে চাপ B বিন্দু অপেক্ষা অধিক হইবে।



চিত্র 7·8

তাহা হইলে A হইতে তরল পদার্থ Bর দিকে যাইবে এবং সাম্য অবস্থা নষ্ট হইবে। অতএব সাম্য অবস্থার জন্য A ও B বিন্দুতে চাপ সমান হওয়া, অর্থাৎ h_1 ও h_2 সমান হওয়া প্রয়োজন। কাজে কাজেই জলের উপরিস্থ তল অনুভূমিক।

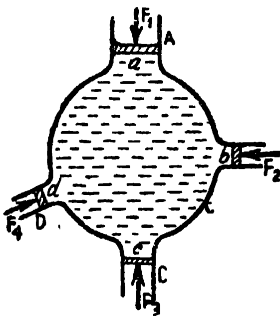
পরস্পর সংযুক্ত পাত্রে তরলের পৃষ্ঠ একই অনুভূমিক সমতলে থাকে : 7·9 চিত্রে পরস্পরের সহিত সংযুক্ত কয়েকটি পাত্র দেখান হইয়াছে। উহাদের যে কোন একটির মধ্যে জল ঢালিলে জল অন্য গুলিতেও প্রবেশ করিবে। সাম্য অবস্থায় দেখা যাইবে, সকল পাত্রের জলের উপরিস্থ তল একই অনুভূমিক সমতলে আছে। ইহার কারণ সহজেই বুঝা যায়। পাত্রগুলির নীচের দিকে একটি সাধারণ অনুভূমিক তল AD কল্পনা করা যাউক; সাম্য অবস্থায় চাপ ইহার উপর সর্বত্র সমান হইবে। বিভিন্ন পাত্রে তরল পদার্থের উপরের তল হইতে AD সমতলের দূরত্ব যদি h_1, h_2, h_3 ও h_4 হয়, তবে A, B, C ও D বিন্দুতে চাপ যথাক্রমে $h_1\rho g$, $h_2\rho g$, $h_3\rho g$, ও $h_4\rho g$ হইবে। যেহেতু এই চাপ সমান, অতএব $h_1 = h_2 = h_3 = h_4$, অর্থাৎ সকল পাত্রে জলের পৃষ্ঠ একই অনুভূমিক সমতলে থাকিবে।



চিত্র 7·9

তরলের এই গুণ কাজে লাগাইয়া সহরে জল সরবরাহের ব্যবস্থা করা হয়। একটি খুব উঁচু ট্যাঙ্কে জল জমা করিয়া নলের সাহায্যে সহরের বিভিন্ন স্থানে ঐ জল যোগান হয়। নলের মধ্য দিয়া জল ট্যাঙ্কের জলের সমান উঁচুতে উঠিতে পারে বলিয়া, দোতলা, তেতলা বাড়ীতেও জল যোগান সম্ভব হয়।

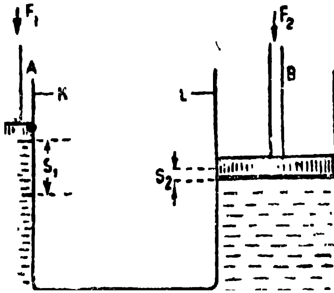
7·9. Pascal's law (প্যাস্কাল সূত্র)—**বদ্ধ পাত্রে অবস্থিত তরল পদার্থের কোন অংশে চাপ প্রয়োগ করিলে সেই চাপ, মান অপরিবর্তিত রাখিয়া তরল পদার্থের সর্বত্র সমানভাবে সঞ্চালিত হয়।** চাপ সঞ্চালনের এই নিয়ম 'প্যাস্কাল সূত্র' নামে পরিচিত। ধরা যাউক, একটি পাত্রে A, B, C ও D এই চারিটি মুখ আছে (7·10 চিত্র) এবং প্রতি মুখেই একটি পিস্টন (Piston) লাগান। পিস্টনগুলির প্রস্থচ্ছেদ-ক্ষেত্রফল যথাক্রমে a, b, c ও d। পাত্রটি সম্পূর্ণরূপে জলপূর্ণ। এই অবস্থায় একটি পিস্টনে চাপ দিলে দেখা যাইবে



চিত্র 7·10

যে অন্য পিস্টনগুলি বাহিরের দিকে খানিকটা সরিয়া আসে। ইহাদ্বারা বুঝা যায় যে প্রযুক্ত চাপ জলের সর্বত্র ছড়াইয়া পড়ে। এখন A ছাড়া অন্য পিস্টনগুলিকে যদি বাহিরের দিকে সরিতে না দিয়া বল প্রয়োগে তাহাদের যথাস্থানে রাখা হয় এবং A, B, C ও D পিস্টনের উপর প্রযুক্ত বল যথাক্রমে F_1, F_2, F_3 ও F_4 হয় তাহা হইলে দেখা যাইবে যে $\frac{F_1}{a}=\frac{F_2}{b}=\frac{F_3}{c}=\frac{F_4}{d}$। পিস্টন Aর উপরে প্রযুক্ত বল F_1 এবং উহার প্রস্থচ্ছেদ a ; কাজে কাজেই Aর উপরে চাপ F_1/a। অনুরূপে পিস্টন Bর উপরে চাপ F_2/b, Cর উপরে F_3/c, এবং Dর উপরে F_4/d। অতএব দেখা গেল যে প্রযুক্ত চাপ সর্বত্র সঞ্চালিত হইয়াছে ও উহার মান অপরিবর্তিত রহিয়াছে। এই চাপ যে কেবল পিস্টনের উপরেই পড়ে তাহা নহে ; আধারের দেওয়ালের সর্বত্র ঐ একই চাপ পড়ে।

7-10. হাইড্রলিক প্রেস (Hydraulic Press বা Bramah's Press)—প্যাস্কাল সূত্রের প্রয়োগে কোন বলকে বহুগুণ বর্ধিত করা যায়। 7·11 চিত্রে K ও L একটি সরু নলদ্বারা যুক্ত দুইটি জলপূর্ণ বেলনাকৃতি পাত্র (Cylindrical vessel)। উহাদের প্রস্থচ্ছেদ-ক্ষেত্রফল যথাক্রমে a ও b। প্রত্যেকটিতে একটি করিয়া পিস্টন, A ও B, লাগান আছে। Kর পিস্টন Aর উপর যদি F_1 বল প্রয়োগ করা যায়, তাহা হইলে Lএর পিস্টন Bর উপর কি বল প্রয়োগ করিলে সাম্য বজায় থাকিবে ?



চিত্র 7·11

যেহেতু K ও L উভয়েই জলপূর্ণ, অতএব Aর উপরে যে চাপ পড়িতেছে, সাম্য অবস্থায় প্যাস্কাল-সূত্র অনুসারে Bতেও সেই চাপ পড়িবে।

Aর উপরে চাপ $P_1=F_1/a$। সাম্যের জন্য Bর উপরে যদি F_2 বল প্রয়োগ করিতে হয়, তবে তথাকার চাপ $P_2=F_2/b$।

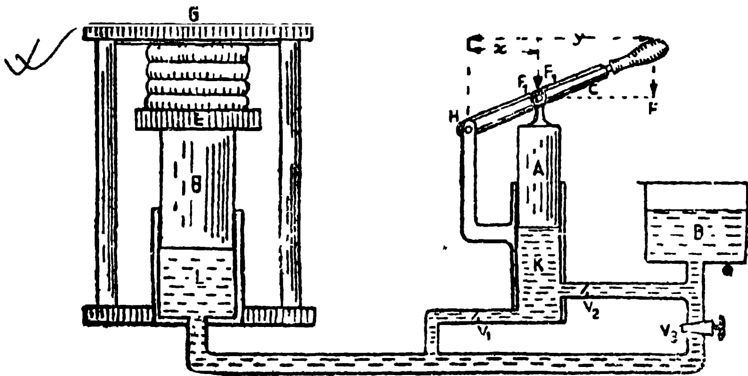
প্যাস্কাল সূত্র অনুসারে, $P_1=P_2$ বা $F_1/a=F_2/b$।

$$F_2=\frac{b}{a}F_1 \qquad (7.1)$$

অতএব b যদি a অপেক্ষা একশত গুণ বড় হয়, তবে Aতে কোন বল প্রয়োগ করিলে উহা Bতে একশতগুণ বর্ধিত হইয়া অনুভূত হইবে।

হাইড্রলিক প্রেস যন্ত্রে এইরূপে সামান্য বলকে বর্ধিত করিয়া তুলা বা পাটের বস্তা চাপা, ভারী ওজন তোলা প্রভৃতি নানাবিধ কাজ করা হয়।

7·12 চিত্রে হাইড্রলিক প্রেসের একটি নক্সা (Schematic diagram) দেওয়া হইল। B পিস্টনটির উপর একটি লোহার পাত E বসান আছে। E ও Gর মধ্যে বস্তাগুলি রাখা হয়। K ও L এই পাত্র দুইটি নলদ্বারা সংযুক্ত। নলের মধ্যে একটি ভাল্‌ভ্ (Valve) V_1 আছে। ইহা জলকে K হইতে Lএ আসিতে দেয়, কিন্তু উল্‌টা দিকে যাইতে দেয় না। D একটি জলের পাত্র; উহা নলদ্বারা



চিত্র 7·12

Kর সহিত যুক্ত। নলে একটি ভাল্‌ভ্ V_2 আছে। V_2র মধ্য দিয়া D হইতে Kতে জল আসিতে পারে, কিন্তু উল্‌টা দিকে যাইতে পারে না। Kর উপরের পিস্টন Aর সহিত একটি লিভার C সংযুক্ত আছে। লিভারের আলম্ব (fulcrum) H। লিভারের হাতলে যদি F বল প্রয়োগ করা যায় তবে Aর উপরে সেই বল হইবে F_1, এবং $F_1.x = F.y$ (এ স্থানে x এবং y চিত্রানুযায়ী ধরিতে হইবে)।

F_1 x

K ও L এর প্রস্থচ্ছেদ-ক্ষেত্রফল যদি a ও b হয়, তবে 7·1 সমীকরণ অনুসারে, Bর উপরে অনুভূত বল

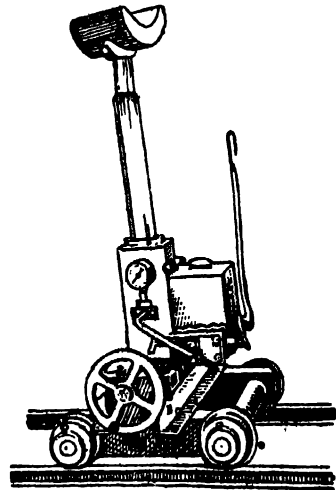
$$\frac{b}{a} F_1 = \frac{b}{a} \cdot \frac{y}{x} F \qquad (7{\cdot}2)$$

আসল প্রেসে y এবং b যথাক্রমে x ও a অপেক্ষা বড়। অতএব Bতে অনুভূত বল F_2, লিভারের হাতলে প্রযুক্ত বল F অপেক্ষা বহুগুণ বেশী। $\frac{F_2}{F}$ অনুপাতকে **যান্ত্রিক সুবিধা** (**Mechanical advantage**) বলে। এখানে

$$\text{যান্ত্রিক সুবিধা} = \frac{b}{a} \cdot \frac{y}{x} \qquad (7.3)$$

C লিভারে নীচের দিকে চাপ দেওয়ায় K হইতে খানিকটা জল Lএ চলিয়া আসে ও B পিস্টনকে উপরের দিকে F_2 বলে ঠেলিয়া দেয়। এই বল বস্তাগুলিকে সংকুচিত করে। C লিভার উপরের দিকে তুলিলে V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায়, এবং V_2 খুলিয়া গিয়া খানিকটা জল D হইতে Kতে চলিয়া আসে। পূর্বোক্ত প্রকারে লিভারে আবার চাপ দিয়া বস্তাগুলিকে আরও সংকুচিত করা হয়। প্রত্যেকবার Cতে চাপ দিলেই K হইতে খানিকটা জল Lএ স্থানান্তরিত হয়।

● মনে হইতে পারে যে বার বার লিভারে চাপ দিয়া বস্তার উপরে যত খুসী বল প্রয়োগ করা যায়। কিন্তু এই বল খুব বেশী হইয়া গেলে Lএর দিক হইতে V_1 ভাল্‌ভের উপর পশ্চাৎ চাপ অত্যন্ত বেশী হইয়া পড়ে এবং ভাল্‌ভ আর জল আটকাইয়া রাখিতে পারে না। যে বল প্রয়োগ করিতে পারা যায়, এই কারণে তাহার একটা সীমা থাকে। B নীচে নামাইয়া আনিতে হইলে V_3 ভাল্‌ভ খুলিয়া দিয়া Bর উপরে চাপ দিতে হয়। তাহা হইলে Lএর জল Dতে গিয়া জমা হয়।


চিত্র 7·13

ব্যবহারঃ বহুবিধ কাজে হাইড্রলিক প্রেসের ব্যবহার হয়। তুলা, পাট, কাপড়, কাগজ প্রভৃতির গাঁইট চাপা ছাড়া, বই বাঁধাই, বীজ হইতে তেল বাহির করা, এবং লোহা প্রভৃতির পাতকে ইচ্ছামত আকার দিতেও এই প্রেস ব্যবহৃত হয়। মোটরের কারখানায় মেরামতী মোটর গাড়ী ও দন্ত-চিকিৎসকের ঘরে রোগীর বসিবার

চেয়ার উঁচুতে তুলিতে এই প্রেসের কৌশলই প্রয়োগ করা হয়। মোটর গাড়ীর হাইড্রলিক ব্রেক, ও ভারী বস্তু অল্প উঁচুতে তোলার হাইড্রলিক জ্যাক, এ সবই প্যাস্কালের সূত্রের প্রয়োগ।

এই সকল যন্ত্রের কোনটিরই বাহ্যিক আকার 7.11 বা 7.12 চিত্রের মত নয়। 7.13 চিত্রে একটি hydraulic jack দেখান হইয়াছে। Hydraulic garage lift কতকটা ইহারই মত। কিন্তু উহার মোটা পিস্টনটি ছয় ফুটেরও বেশী উপরে উঠিতে পারে। উহার মাথায় মোটর গাড়ী দাঁড় করাইবার মত প্ল্যাটফর্ম থাকে।

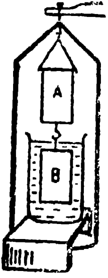
7-11. Archimedes' Principle (আর্কিমিডিসের সূত্র)— কোন বস্তুকে তরল বা বায়বীয় পদার্থে (Fluid) অংশত বা পূর্ণত নিমজ্জিত করিলে উহার ওজন খানিকটা কম বলিয়া বোধ হয়। বস্তুটি যে ওজনের তরল বা বায়বীয় পদার্থ স্থানচ্যুত করে, বস্তুর ওজন আপাত ততটাই কমিয়া যায়। এই তথ্য **আর্কিমিডিসের সূত্র** বলিয়া পরিচিত।

জলের মধ্যে একখণ্ড ইট হাতের উপর রাখিতে বিশেষ বলের প্রয়োজন হয় না, কিন্তু জলের বাহিরে উহার জন্য অনেক বেশী বলের প্রয়োজন হয়। জলের মধ্যে ইটের আপাত ওজন কম হওয়াই ইহার কারণ। ইট যে পরিমাণ জল স্থানচ্যুত করিয়াছে, উহার ওজন সেই পরিমাণ জলের ওজনের সমান কমিয়াছে। ওজনের আপাত হ্রাসকে **ভরের আপাত হ্রাস** বলিয়াও ধরা যাইতে পারে। **আসলে ভর কমে না, ওজনই কমে।** ওজন কমার কারণ § 7-12-তে বলা হইতেছে।

আর্কিমিডিসের সূত্র তরল ও বায়বীয় উভয়বিধ পদার্থ সম্বন্ধেই সত্য। বর্তমানে আমরা কেবলমাত্র তরল পদার্থের ক্ষেত্রেই উহার প্রয়োগ আলোচনা করিব।

পূর্ণ নিমজ্জিত বস্তুর ক্ষেত্রে আর্কিমিডিসের সূত্র নিম্নলিখিতভাবে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়।

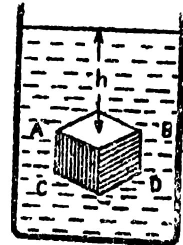
একটি তুলাদণ্ডের একপাশ হইতে দুইটি স্তম্ভক A ও B (7.14 চিত্র) সুতাদ্বারা ঝুলান হইল। A স্তম্ভকটি ফাঁপা ও একমুখ খোলা এবং B নিরেট।



চিত্র 7·14

Bকে Aর মধ্যে ঠিক ঠিক ঢুকাইয়া দেওয়া যায় অর্থাৎ Bর আয়তন Aর ভিতরের আয়তনের সমান। অন্য পার্শ্বে ওজন বসাইয়া তুলাদণ্ড অনুভূমিক করা হইল। এখন যদি Bকে একটি জলপূর্ণ পাত্রে ডুবান হয়, তবে তুলাদণ্ডের এই দিক উপরে উঠিয়া যাইবে এবং অন্যদিক নীচে নামিবে। ইহা হইতে বুঝা যায় যে জলে ডুবাইলে বস্তুর ওজন কমে। উপরোক্ত অবস্থায় Aর মধ্যে যদি আস্তে আস্তে জল ঢালা যায় তাহা হইলে পাল্লাটি আবার নীচের দিকে নামিতে থাকিবে এবং A যখন জলপূর্ণ হইবে তখন দেখা যাইবে যে তুলাদণ্ড যথার্থ অনুভূমিক হইয়াছে। Aর ভিতরের আয়তন Bর আয়তনের সমান বলিয়া ইহা প্রমাণিত হইল যে, জলে নিমজ্জিত করিলে বস্তুর ওজন যে পরিমাণ কমে তাহা নিমজ্জিত বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজনের সমান।

7-12. Buoyancy (প্লবতা)—কোন বস্তুকে জলে ডুবাইলে তাহার ওজন কমে। ইহার কারণ জলের ঊর্ধ্বচাপ জনিত বল বা **Buoyancy (প্লবতা)**। মনে করা যাউক $ABCD$ ঘনকটি (Cube) জলে নিমজ্জিত আছে (7·15 চিত্র) এবং উহার AB ও CD তল অনুভূমিক। ঘনকের সব কয়টি দেওয়ালেই জলের চাপ পড়িবে। উহার চারি পাশের বিপরীত দেওয়ালের উপর চাপ সমান ও বিপরীত বলিয়া একে অপরের ক্রিয়া ক্ষয় করে। AB পৃষ্ঠের উপর নিম্নচাপ ও CD পৃষ্ঠের উপর ঊর্ধ্বচাপ-এই দু'য়ের মিলিত ক্রিয়ায় যে বল হয়, জলে নিমজ্জনের জন্য ঘনকের উপর সেই বলই ক্রিয়া করে। ধরা যাউক ঘনকের প্রতি বাহু a, জলের উপরের তল হইতে ABর দূরত্ব h ও জলের ঘনত্ব ρ। তাহা হইলে AB পৃষ্ঠের উপর মোট নিম্নাভিমুখী বল $= a^2h\rho g$।



চিত্র 7·15

CD পৃষ্ঠের উপর মোট ঊর্ধ্বাভিমুখী বল $= a^2(h+a)\rho g$।

অতএব $ABCD$ ঘনকের উপর মোট ঊর্ধ্ববল

$$= a^2\rho g(h+a) - a^2h\rho g = a^3\rho g \text{।}$$

কিন্তু a^3 ঘনকটির আয়তন এবং $a^3\rho g$ ঘনকের সম-আয়তন জলের ওজন। অতএব **ঘনকটির উপর মোট ঊর্ধ্বাভিমুখী বল Force of buoyancy বা প্লবতা সম-আয়তন জলের ওজনের সমান।** নিমজ্জনের জন্য এই বল ক্রিয়া করে এবং উহা বস্তুর ওজনের বিপরীতমুখী; অর্থাৎ নিমজ্জনের জন্য বস্তুর ওজন এই পরিমাণ কমিয়া যায়। এই ঊর্ধ্বমুখী বল স্থানচ্যুত জলের ভারকেন্দ্রে ক্রিয়া করে। এই বিন্দুকে **Centre of buoyancy** (**প্লবতা কেন্দ্র**) বলা হয়। **বস্তুর ওজন ও প্লবতা একই ঊর্ধ্ব রেখায় বিপরীত মুখে ক্রিয়া করে।**

তুলার একপাত্রে এক গেলাস জল রাখিয়া ভারসাম্য প্রতিষ্ঠা করা হইল। কাঠের একটি দণ্ড হাতে লইয়া দণ্ডের এক প্রান্ত জলে ডুবাইলে তুলার ভারসাম্য থাকিবে কি না? দণ্ডের নিমজ্জিত অংশের উপর স্থানচ্যুত জলের প্লবতা ঊর্ধ্ব রেখায় ক্রিয়া করে। নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুসারে দণ্ড জলের উপরে সমান ও বিপরীত বল প্রয়োগ করে। ফলে জলের উপর নিম্নাভিমুখী বল বাড়িয়া যাওয়ায় তুলার ভারসাম্য নষ্ট হয়।

7-13. আর্কিমিডিসের সূত্রের সাহায্যে কোন বস্তুর আয়তন ও ঘনত্ব বাহির করা—মনে করা যাউক শূন্যে বা বায়ুতে কোন বস্তুর ওজন $= m_1$ gm, এবং জলে ডুবাইলে উহার আপাত ওজন $= m_2$ gm। (এক্ষেত্রে ওজন ভরের এককে মাপা হইয়াছে।)

$\therefore$ জলে ডুবাইলে ওজনের আপাত হ্রাস $= (m_1 - m_2)$gm।

কিন্তু আর্কিমিডিসের সূত্র অনুসারে—

বস্তুর ওজনের আপাত হ্রাস $(m_1 - m_2)$gm $=$ বস্তু কর্তৃক স্থানচ্যুত জলের ওজন।

জলের ঘনত্ব যদি ρ gm/c.c. হয় তবে এই পরিমাণ জলের আয়তন

$$= \frac{m_1 - m_2}{\rho} \text{ c.c.}$$

ইহাই বস্তুরও আয়তন, কারণ বস্তু সম-আয়তন জল স্থানচ্যুত করে। জলের ক্ষেত্রে $\rho = 1$ gm/c.c. ধরা যায়। তাহা হইলে নিমজ্জিত বস্তুর আয়তন $= (m_1 - m_2)$ c.c.

আবার, যেহেতু বস্তুটির ওজন জানা আছে এবং উহার আয়তনও বাহির করা হইয়াছে, অতএব উহার

$$\text{ঘনত্ব} = \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}} = \frac{m_1}{(m_1 - m_2)/\rho},$$

জলের ঘনত্ব $\rho = 1 \text{gm/c.c.}$ ধরিলে

$$\text{বস্তুর ঘনত্ব} = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \text{gm/c.c.} \qquad (7{\cdot}4)$$

7-14. ভাসমান বস্তুর সাম্য (Equilibrium of floating bodies)—কোন বস্তুকে অংশত বা পূর্ণত কোন তরলে ডুবাইলে তাহার উপর দুইটি বল কাজ করে, যথা—

(1) বস্তুর ওজন W। ইহা বস্তুর ভারকেন্দ্রে ক্রিয়া করে ও বস্তুকে নীচের দিকে টানিয়া নামাইতে চায়।

(2) তরলের প্লবতা বা buoyancy W'। ইহা স্থানচ্যুত তরলের ওজনের সমান এবং স্থানচ্যুত তরলের ভারকেন্দ্রে ক্রিয়া করিয়া বস্তুকে উপরের দিকে ঠেলিয়া তুলিতে চায়।

(ক) বস্তুর ওজন যদি স্থানচ্যুত তরলের ওজন অপেক্ষা বেশী হয় (অর্থাৎ $W > W'$), তাহা হইলে বস্তুটি ডুবিয়া যায়। বস্তুটি সমসত্ত্ব (homogeneous) হইলে উহার ঘনত্ব ρ সর্বত্র সমান। বস্তুটির আয়তন যদি v হয়, তাহা হইলে উহার ওজন $W = v\rho g$। তরলের ঘনত্ব ρ' হইলে স্থানচ্যুত তরলের ওজন $W' = v\rho' g$। $W > W'$ অর্থাৎ

$$\rho > \rho' \qquad (7{\cdot}5)$$

হইলে বস্তুটি তরলে ডুবিয়া যাইবে।

সমসত্ত্ব না হইয়া $W > W'$ হইলেও বস্তুটি ডুবিবে।

(খ) বস্তুর ঘনত্ব ρ তরলের ঘনত্ব ρ' অপেক্ষা কম হইলে বস্তুটি তরলে ছাড়িয়া দিলে প্রথমে উহা ডুবিতে থাকে। ডোবার সঙ্গে সঙ্গে স্থানচ্যুত তরলের আয়তন বাড়ে ও W'-এর মান বাড়িতে থাকে। এইরূপে বাড়িতে বাড়িতে W' যখন Wর সমান হয় তখন বস্তুটি আর ডুবিতে পারে না এবং ঐ অবস্থায় ভাসে।

বস্তুটিকে জোর করিয়া আরও ডুবাইয়া দিলে $W' > W$ হয়। এই অবস্থায় (অর্থাৎ বেশী ডুবাইয়া) রাখিতে হইলে বস্তুটির উপর $W' - W$ বল নিম্নাভিমুখে

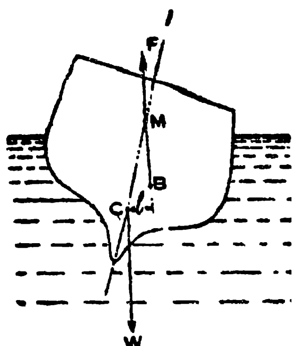
প্রয়োগ করা দরকার। এই বল সরাইয়া লইলে বস্তুটি ভাসিয়া ওঠে এবং যে অবস্থানে $W' = W$ হয়, সেই অবস্থানে ভাসিতে থাকে।

বস্তু সর্বাধিক যে আয়তন তরল স্থানচ্যুত করিতে পারে তাহা উহার নিজের আয়তনের সমান। অতএব W'এর সর্বোচ্চ মান $v\rho'g$। Wর মান $v\rho g$। ভাসিতে হইলে $v\rho'g$, $v\rho g$ অপেক্ষা বড় হওয়া দরকার বলিয়া

$$\rho' > \rho \qquad (7.6)$$

হইতে হইবে।

তরলের সমান ঘনত্বের কোন বস্তু তরলে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত হইলে $W = W'$। এই অবস্থায় বস্তুটি তরলের মধ্যে যে কোন অবস্থানে সাম্যে থাকিবে, কারণ উহার উপর মোট ক্রিয়াশীল বলের মান শূন্য।



চিত্র 7·16

ভাসমান বস্তুর সাম্যের সর্ত—কি কি সর্ত পূর্ণ হইলে কোন বস্তু সাম্যাবস্থায় ভাসিতে থাকিবে তাহা আমরা উপরের আলোচনা হইতে পাই। দেখা যাইতেছে ভাসিয়া সাম্যাবস্থায় থাকিতে হইলে নিম্নলিখিত সর্ত দুইটি পূর্ণ হওয়া চাই:

(1) **বস্তু নিজের সমান ওজনের তরল স্থানচ্যুত করিবে, ও**

(2) **বস্তুর ভারকেন্দ্র C ও স্থানচ্যুত তরলের ভারকেন্দ্র (অর্থাৎ প্লবতাকেন্দ্র) B একই উর্ধ্ব রেখায় অবস্থিত থাকিবে।** এই সর্ত পূর্ণ না হইলে Cতে ক্রিয়াশীল W বল ও Bতে ক্রিয়াশীল W' বল (7.16 চিত্রে ইহাকে F বলিয়া দেখান হইয়াছে) উভয়ে মিলিয়া একটি দ্বন্দ্বের সৃষ্টি করে। এই দ্বন্দ্বের ক্রিয়ায় বস্তুটি ঘুরিতে প্রয়াস পায়। কাজেই উহার সাম্য হয় না।

(3) **ভাসমান বস্তুর আয়তনের কত অংশ ডুবিয়া থাকে**—ধরা যাউক কোন ভাসমান বস্তুর তরলে নিমজ্জিত অংশের আয়তন v_1 ও তরলের বাহিরে উহার যে অংশ তাহার আয়তন v_2। ρ বস্তুর ঘনত্ব এবং ρ' তরলের ঘনত্ব হইলে বস্তুর ওজন $(v_1 + v_2)\rho g$ এবং স্থানচ্যুত তরলের ওজন $v_1\rho' g$। ভাসিবার সর্ত অনুসারে এই দুইটি সমান।

$$v_1\rho' g = (v_1 + v_2)\rho g \qquad (7.7)$$

অর্থাৎ $\dfrac{\text{নিমজ্জিত অংশের আয়তন}}{\text{মোট আয়তন}} = \dfrac{\text{বস্তুর ঘনত্ব}}{\text{তরলের ঘনত্ব}}$ (7.8)

কয়েকটি উদাহরণ—(1) জল যখন জমিয়া বরফ হয় তখন উহার আয়তন $\frac{12}{11}$ গুণ বাড়িয়া যায়, অর্থাৎ এক টুকরা বরফের আয়তন উহার সমান ওজনের জলের আয়তন অপেক্ষা $\frac{1}{11}$ ভাগ বেশী। সুতরাং এক টুকরা বরফ যখন জলে ভাসিতে থাকে তখন উহার যে অংশ নীচে থাকে, তাহার $\frac{1}{11}$ অংশ থাকে উপরে,

অতএব $\dfrac{\text{বরফের ভাসমান অংশের আয়তন}}{\text{বরফের নিমজ্জিত অংশের আয়তন}} = \dfrac{1}{11}$

ইহা হইতে আমরা সহজেই বলিতে পারি যে ভাসমান বরফের $\frac{1}{12}$ অংশ উপরে থাকে আর $\frac{11}{12}$ অংশ নিমজ্জিত থাকে।

(2) একটি পাত্রে একখণ্ড বরফ জলে ভাসিতেছে এবং পাত্রটি সম্পূর্ণরূপে জলপূর্ণ। বরফ ধীরে ধীরে গলিতেছে। প্রশ্ন এই যে বরফ সম্পূর্ণ গলিয়া গেলে পাত্র হইতে খানিকটা জল উপচাইয়া পড়িবে কি না?

প্রশ্নের উত্তর সহজেই পাওয়া যায়। বরফখণ্ড উহার নিজের ওজনের সমান জল স্থানচ্যুত করিয়া ভাসিতেছে। মনে কর এই স্থানচ্যুত জলের আয়তন v। সম্পূর্ণ গলিয়া গেলে বরফ হইতে উহার নিজের ওজনের সমান জলই বাহির হইবে অর্থাৎ বরফগলা জলের আয়তনও v। দেখা যাইতেছে যে বরফের নিমজ্জিত অংশের আয়তন ও বরফগলা জলের আয়তন একই। সুতরাং বরফ গলিয়া গেলে জল উপচাইয়া পড়িবে না বা গলিবার সময় পাত্রের জল-পৃষ্ঠেরও (level-এর) কোন তারতম্য হইবে না।

(3) লোহা জলে ডুবিয়া যায়, কিন্তু লোহার তৈয়ারী জাহাজ জলে ভাসে। ইহার কারণ পাওয়া খুব সহজ। জাহাজ এরূপভাবে তৈয়ারী যে অল্প একটু ডুবিলেই উহা প্রচুর পরিমাণ জল স্থানচ্যুত করে। ফলে খানিকটা ডুবিলেই স্থানচ্যুত জলের ওজন জাহাজের ওজনের সমান হইয়া যায়, অর্থাৎ $W = W'$ হয়। এরূপক্ষেত্রে লোহার তৈয়ারী হওয়া সত্ত্বেও জাহাজ ভাসিতে থাকে। যদিও লোহার ঘনত্ব জলের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশী, তবুও আকারের জন্য জাহাজ নিজের

সমান ওজনের জল স্থানচ্যুত করিতে পারে। একবার জলে ডুবাইয়া দিতে পারিলে জাহাজ তলাইয়া যাইবে।

(4) **কার্টেসীয় ডাইভার** (**Cartesian Diver**)—একটি কাচের পাত্রের মুখ রবারের পাত দিয়া আঁটা (7·17 চিত্র)। পাত্রটির অধিকাংশ জলপূর্ণ ; কেবল উপরের অল্প কিছু অংশে বাতাস আছে। পাত্রে বিশেষ গঠনের একটি পুতুল ভাসমান অবস্থায় থাকে। রবারের উপর হাত দিয়া খানিকটা চাপ দিলেই পুতুলটি নীচে নামিয়া যায়, আবার চাপ তুলিয়া লইলেই উহা ভাসিয়া উঠে। ইচ্ছা করিলে চাপের তারতম্য করিয়া পুতুলটি জলের যে কোন স্থানে স্থির রাখা যায়। এই খেলনাটির নাম কার্টেসীয় ডাইভার।

পুতুলটির ভিতরের অংশ ফাঁপা এবং উহার পিছনের দিকে একটি ছিদ্র আছে। ঐ ছিদ্রের মধ্য দিয়া কিছুটা জল ভিতরে ঢুকানো। এই অবস্থা প্রধান চিত্রের পাশের ছোট চিত্রটিতে বুঝান আছে। জলের পরিমাণ এমন যে সাধারণ অবস্থায় পুতুলটির সামান্য অংশই ভাসিয়া থাকে।

চিত্র 7·17

রবারের উপর চাপ দিলে বায়ুতে সেই চাপ পড়ে এবং বায়ু জলের উপর চাপ দেয়। প্যাস্কালের সূত্র অনুসারে এই চাপ জলের সর্বত্র সঞ্চালিত হয় ; ফলে পুতুলের মধ্যস্থিত জলের ভিতর দিয়া এই চাপ তাহার উপরের বায়ুতে সঞ্চালিত হয়। এই চাপের প্রভাবে বায়ু সংকুচিত হয় এবং পুতুলের মধ্যে আরও খানিকটা জল ঢোকে। এইভাবে পুতুলের ওজন W জলের প্লবতা বা ঊর্ধ্বঘাত হইতে বেশী হইলে পুতুলটি নীচে নামিতে থাকে। রবারের উপর চাপ তুলিয়া লইলে সর্বত্র চাপ কমিয়া যায় এবং পুতুলের মধ্যকার বায়ু প্রসারিত হইয়া পূর্বের ন্যায় হয় এবং কিছুটা জল বাহির করিয়া দেয়। তাহাতে পুতুল হাল্কা হইয়া আবার ভাসিয়া উঠে। রবারের উপর চাপ পরিবর্তিত করিয়া এরূপ করা যাইতে পারে যে পুতুলের ওজন W প্লবতা W' এর সমান হয়। তাহা হইলে পুতুলটি জলের যে কোন স্থানে স্থির থাকিতে পারে।

(5) **সাবমেরিন**—কার্টেসীয় ডাইভারের মধ্যস্থিত জলের পরিমাণ কমাইয়া

বা বাড়াইয়া উহার ওজন কম বেশী করা যাইতে পারে বলিয়াই উহা জলে উঠা-নামা করিতে পারে। সাবমেরিনকে ইচ্ছামত সমুদ্রে উঠানামা করাইতে হইলে এরূপ ব্যবস্থা করিতে হইবে যাহাতে উহার ওজন ইচ্ছামত বাড়ান বা কমান যায়। কার্টেসীয় ডাইভারের ক্ষেত্রে বাহিরের রবারের উপর চাপ দিয়া উহার মধ্যে জল প্রবেশ করান হয় এবং তাহাতে উহার ওজন বাড়ে। সাবমেরিনের দুই পাশে কতকগুলি বড় বড় চৌবাচ্চা থাকে ; ইহাদের নাম Ballast tank। জাহাজের ওজন বাড়াইতে হইলে ভাল্‌ভ খুলিয়া ঐ সমস্ত চৌবাচ্চায় জল ভর্তি করা হয়। তাহাতে জাহাজ ভারী হয় এবং উহা জলের নীচে নামে। সংনমিত বায়ুর (Compressed air-এর) সাহায্যে Ballast tank হইতে জল বাহির করিয়া দিলে জাহাজ হাল্কা হয় ও উপরে ভাসিয়া উঠে। ট্যাঙ্কে পরিমিত জল থাকিলে সাব-মেরিন যে কোন স্থানে স্থির হইয়া থাকিতে পারে।

(6) **সাঁতার কাটা**—মানুষের দেহ জল অপেক্ষা সামান্য বেশী ভারী। তুলনায় মাথাই দেহের মধ্যে সর্বাপেক্ষা ভারী। শ্বাস ছাড়িয়া জলে ডুব দিলে দেখা যাইবে যে মাথা আস্তে আস্তে নীচের দিকে যাইতে চায়। হাত পা নাড়িয়া জলে চাপ দিয়া মাথা তুলিয়া রাখিবার কৌশল শেখাই সাঁতার শেখা। গভীর শ্বাস গ্রহণ করিলে ফুসফুসে বায়ু প্রবেশ করে ও বক্ষ-প্রকোষ্ঠের (Chest cavityর) আয়তন বাড়ে। ইহাতে দেহ বেশী জল স্থানচ্যুত করে এবং সেই-জন্য ভাসিয়া থাকায় আরও সাহায্য হয়। সমুদ্রের জল সাধারণ জল অপেক্ষা বেশী ভারী বলিয়া সমুদ্রে ভাসা আরও সহজ, কারণ স্থানচ্যুত জলের ঊর্ধ্বচাপ বা প্লবতা আরও বেশী।

Exercises

1. Distinguish between force and pressure. On what units does the unit of pressure depend ? State the absolute units of pressure in the cgs and the fps systems and express one in terms of the other.

2. A mass of 200 lb. rests at the centre of a table supported on four legs, each two inches square. Find the pressure on the legs. If the legs had sides one inch each, what would be the pressure on the ground ?

[*Ans* : (*i*) $12\frac{1}{2}$ lb/in^2 ; (*ii*) 50 lb/in^2.]

3. Describe simple experiments to show that a liquid exerts a normal thrust on any surface in contact with it.

Obtain an expression for the pressure exerted by a liquid column of height h and density ρ.

4. Distinguish between 'pressure' and 'thrust' on a surface inside a liquid.

Express in ton-wt. per sq. ft. the pressure at a depth of one mile in sea-water, sea-water being 1·026 times as dense as pure water. Given, 1 cu. ft. of pure water weighs 62·5 lb.

[*Ans* : 151 ton-wt. per sq. ft.]

5. Water is 120 ft. deep on the upstream face of a dam. What are the pressures (in lb/in²) at (*i*) the middle, and (*ii*) the base of the dam ?

If the dam is 700 ft. long, what is the total thrust (in ton-wt.) on it ? Should the above dam have the same thickness at the bottom and the top ?

[*Ans* : (*i*) 26·04 lb/in², (*ii*) 52·08 lb/in², (*iii*) 1406×10^5 ton wt., (*iv*) No, thicker at the bottom.

6. A cylindrical steel barrel 21 inches in diameter and 24 inches long stands upright. A 29 ft. pipe, 2 inches in diameter, is attached to the top. Compute in lb. wt., (*i*) the total thrust on the sides of the barrel, and (*ii*) on the base. Take $\pi = 22/7$.

[*Ans* : (*i*) 20625 lb. wt., (*ii*) 4665 lb. wt.

7. A hydraulic press is used in a book bindery. The small piston is 1″ in diameter and the large one is 6″. It is worked by a hand lever of which the ratio of the arms is 1 : 8. If a force of 30 pounds is applied on the handle, what is the force on the books in the press ?

[*Ans* : 8640 lb. wt.]

8. State Archimedes' principle and describe an experiment to verify it.

A body weighs 50 gm. in air and 40 gm. in water. Find the density.

[*Ans* : 5 gm/cm³.]

9. Explain what is meant by buoyancy. A straight stick is 1 sq. inch in cross-section. It is pushed 4 ft. into water. What is the up-thrust on the stick ? If the stick weighs 1 lb., how much force will be needed to hold the stick in position ? What is the direction of this force ?

[*Ans* : ·736 lb. wt.; downwards]

10. A large beaker containing water is placed on a scale pan and found to weigh 200 gm. A cube of iron of sides 10 cm. each and suspended by a thread from a stand is completely immersed in the water of the beaker, without the iron touching the sides of the beaker. Find the weight required to restore the balance. Explain your answer. [*Ans*: 1000 gm.]

11. State the conditions of floatation of a body and explain them. A

body floats with 4/5th of its volume immersed in water. Find its density. How do submarines immerse themselves. [*Ans* : ·8 gm/c.c.]

12. A cylinder of wood of density 0·25 gm/cm^3 has another cylinder of metal (density 8 gm/c.c.) attached to one end. The cylinders are 2 inches in diameter, have the same axis and are respectively 20 in. and 1 in. long. If the combination is placed in water find how much of it will be above the surface. [*Ans* : 8 in.]

13. A hollow sphere made of glass will just and only just sink in methylated spirit (density 0·80 gm/c.c.). It floats in sulphuric acid (density 1·80 gm/c.c). Explain why this is so, and calculate the proportion of the volume of the sphere immersed in the acid. [*Ans* : 4/9]

14. A solid body floating in water has 1/6 of its volume above the surface. What fraction of its volume will project if it floats in a liquid of density 1·2 gm/c.c. [*Ans* : 11/36]

15. A body measuring 36 c.c. floats with 3/4th of its volume under water. Find the weight and density of the body.

[*Ans* : Density ·75 gm/cm^3 ; weight 27 gm.]

16. A block of wood of rectangular section and 6 cm. deep floats in water. If its density is ˇ6 gm/cm^3, how far below the surface of water is its lower end ? What weight placed on the upper surface of the block is needed to sink it to a depth of 5 cm., if its area of cross-section is 120 sq cm.? [*Ans* : 3·6 cm. ; 168 gm.]

17. A piece of iron weighing 275 gm. floats in mercury (density 13·59 gm/cm^3) with 5/9 of its volume immersed. Find the volume and density of iron. [*Ans* : Density 7·55 gm/cm^3 , volume 36·4 cm^3.]

18. A piece of wax of volume 22 c.c. floats in water with 2 c.c. above the surface. Find the weight and density of wax. (C. U. '47)

[*Ans* : 24 gm. ; density 10/11 gm./cm^3.]

19. A string, which snaps when the load on it is 4 lb., is made to support, under water, a brick weighing 5 lb. Find what fraction of the brick will emerge when the string snaps in the course of pulling the brick out of the water, given that the density of the material of the brick is 1·5 times that of water. [*Ans* : 70]

20. A diver dives 50 ft. under sea-water which is 1·025 times heavier than pure water. If his diving suit has a surface area of 15 sq. ft. find in lb. wt. the total thrust exerted by the water on the suit. (Density of pure water = 62·5 lb/ft^3.) [*Ans* : $4{\cdot}8 \times 14^4$ lb. wt.]

21. A cube of wood of density 0·4 gm/c.c. floats in water. It has side 5 cm. each. To what depth is it immersed ? What is the upthrust on the cube ? What would be the upthrust if it were floated in kerosene of density twice its value ? [*Ans* : 2 cm. ; 50 gm. wt.]

22. A mine of volume 100 litres and mean density 0·95 gm/c.c. is held under sea-water by a light chain fastened to the sea-bed. Calculate the upthrust on the mine if the density of sea-water is 1·02 times that of fresh water.

What is the tension in the chain ? [*Ans* : 102 kg. wt. ; 7 kg. wt.]

23 What volume of wood of density 0·8 gm/c.c. must be tide to a lump of aluminium of density 2·7 mg/c.c. and weighing 10 gm. so that the combination may just float in water ? [*Ans* ; $31\frac{1}{2}$ c. c. nearly.

24. Answer the following questions :—

(*a*) In stating that the pressure at a point in a liquid is proportional to depth what is assumed regarding density ?

(*b*) If when floating in water you take a deep breath, you float with a small part of your body out of water. If you exhale, you sink. What inference regarding the average density of your body do you draw from this, and how do you explain the change in the two cases ?

(*c*) Does a ship wrecked in mid-ocean sink to the bottom or does it remain suspended at some great depth ? Justify your opinion.

(*d*) A vessel full of water is suspended from a spring balance. Equal volumes of (*a*) cork and (*b*) lead are alternately dipped into the water. What changes would you expect in the reading of the spring balance in the two cases ? Explain.

25. State and explain the principle of Archimedes. Apply it to determine the volume of a body which sinks in water.

(*Higher Secondary Examination*, W. B. '60)

26. State and explain Archimedes' principle. Show how it can be applied to find the volume of a solid.

Two pieces of a metal are suspended from the arms of a balance and found to be in equilibrium when kept immersed in water. The mass of one piece is 32 gm. and its density is 8 gm/c. c. The density of the other is 5 gm /c.c. What is it mass ? (C. U. '49) [*Ans* : 35 gm.]

27. State and explain Pascal's principle on the transmission of liquid pressure. Draw a neat diagram and describe the action of a hydraulic press, as an application of the principle. (C. U. 50)

28. It is desired to find what proportion of bulk of a floating body is submerged in a given liquid. Explain how you would solve the question. A block of ice weighing 1000 kgm is thrown into the sea. Determine the volume of ice submerged. The density of ice is 0·917 gm/c.c. and the density of sea-water is 1·03 gm/c.c. (C. U. '51)

[*Hint* : Take a wide-mouthed vessel with a spout near its top and fill it with the given liquid till overflow occurs from the spout. Now place a graduated cylinder below the spout to catch any further

liquid that may spill. Lower the given body slowly into the vessel and collect the displaced liquid in the graduated cylinder. The volume of the liquid collected is the volume submerged. The total volume is found by fully immersing the body.

29. State and explain Pascal's law of transmission of fluid pressure and show how large forces can be obtained by the use of a liquid under pressure.

Find the total pressure on a submerged vertical sluice gate, 4 ft. by 3 ft, the longer sides horizontal, when its top is 2 ft. below the surface of water. Given, 1 c. ft, of water weighs 62·5 lb. (C. U. '55)

[*Hint* : $h = 3{\cdot}4$ ft., $\rho = 62{\cdot}5$ lb./c. ft., area $= 12$ sq. ft.
[*Ans* : 2624 lb. wt.]

30. State Pascal's principle of transmission of fluid pressure and apply it to secure multiplication of force.

Describe a Bramah press with a neat diagram. What is the mechanical advantage in such a machine ? (C. U. '57)

● 31. State and prove the principle of Archimedes. A solid displaces $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ and $\frac{1}{4}$ of its volume respectively when it floats in three different liquids. Find how much of its volume will be above the surface when it floats in a mixture formed of equal volumes of the aforesaid three liquids. (Gau. Univ. '54.)

[*Hint* : The densities of the three liquids are 2ρ, 3ρ and 4ρ, where ρ is the density of the solid. A mixture of equal volumes of the three liquids will have average density $= 3\rho$. In this mixture the solid will displace $\frac{1}{3}$ its volume. Hence $\frac{2}{3}$ its volume will remain above the surface.]

32. State Pascal's law of transmission of fluid pressure and define *intensity of pressure* at a point in a fluid. How does the pressure at a point in a fluid vary with the depth of the point below the surface of the fluid ?

A bottle, whose volume is 500 c. c., is sunk mouth downward below the surface of a pond. How far must it be sunk for 100 c. c. of water to run up into the bottle? The height of the barometer at the surface of the pond is 760 mm. Specific gravity of mercury is 13 6. (Gau. Univ. '55)

[*Hint* : Initial volume of gas in the bottle $= 500$ c.c., final volume $= 400$ c. c. Initial pressure $= 760$ mm. of mercury $= 76 \times 13{\cdot}6$ cm. of water.

$\therefore$ Final pressure $= 76 \times 13{\cdot}6 \times \frac{5}{4}$ cm. of water,

$\therefore$ Increase in pressure $= 76 \times 13{\cdot}6 \times \frac{1}{4} = 238{\cdot}4$ cm. of water.

The bottle must be sunk to this depth.

(In engineering practice the term *intensity of pressure* means the force per unit area.)

33. A flat boat is 20 ft by 30 ft. in area. How much will it be lowered when carrying a 1-ton automobile ? (Gau. Univ. '57)

[*Ans* : 0·72 inch nearly.]

34. It is desired to find what proportion of the bulk of a floating body is submerged in a given liquid. Explain how you would solve the problem.

A raft is made of five cedar logs. 1 ft. in diameter and 6 ft. long. Assuming the wood to have a specific gravity of 0·60, find the maximum load the raft can support. Assume the density of cedar to be 35 lb/cft.

(Gau. Univ. '58) [*Ans* : 329·7 lb.]

35. Distinguish between centre of gravity and centre of buoyancy. State the laws of floating bodies. (Utkal Univ. '56)

36. A metal cylinder of iron floats vertically and fully immersed in a vessel containing mercury and water. Find the ratio of the lengths of the cylinder immersed in water to that immersed in mercury. [Sp. gr. of mercury = 13·6 ; Sp. gr. of cylinder = 8·56] (Utkal Univ. '5 7)

[*Ans* : 2 : 3]

37. Why is it that an iron ship floats in water even though iron is heavier than water ? Enunciate the conditions of flotation of a body.

(C. U. '59)

38. What is meant by the pressure at a point inside a liquid ? By what experimental arrangement would you prove that water exerts pressure in all directions equally at the same point ? Find the value of the pressure at a point x cms. below the surface of a liquid of density ρ.

(C. U. '59)

অষ্টম পরিচ্ছেদ

আপেক্ষিক গুরুত্ব

[Specific Gravity]

Density and Specific Gravity (ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব)—একক আয়তন স্থানে যে পরিমাণ পদার্থ থাকে তাহাকে, অর্থাৎ একক আয়তনের ভরকে, পদার্থের **Density (ঘনত্ব)** বলে। বস্তুর ভর M এবং আয়তন V হইলে, উহার ঘনত্ব

$$\rho = \frac{M}{V}$$

ঘনত্ব প্রকাশ করিতে প্রতি একক আয়তনে কতখানি ভর তাহাই লিখিতে হয়। অতএব ঘনত্ব $\frac{\text{gm}}{\text{cm}^3}$ বা $\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$ এই প্রকার এককে প্রকাশিত হয়।

কোন পদার্থের **Specific Gravity (আপেক্ষিক গুরুত্ব)** বলিতে উহা জল অপেক্ষা কতগুণ ভারী তাহাই বুঝায়, অর্থাৎ

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{সম আয়তন জলের ভর}}$$

ভর এবং ওজন সমানুপাতিক বলিয়া আমরা বিকল্পে বলিতে পারি,

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{সম আয়তন জলের ওজন}}$$

বস্তুর ভর M, আয়তন V এবং সম আয়তন জলের ভর M' হইলে আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{M}{M'} = \frac{M/V}{M'/V} = \frac{\text{পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}} = \frac{\rho}{\rho'}$

সুতরাং দেখা যাইতেছে **কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব, উহার ঘনত্বের সহিত জলের ঘনত্বের অনুপাতের সমান**। আপেক্ষিক গুরুত্ব দুইটি ভর বা দুইটি ঘনত্বের অনুপাত বুঝায় বলিয়া **উহা সংখ্যা মাত্র**।

জলের ঘনত্ব উষ্ণতার সহিত পরিবর্তিত হয় এবং চার ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব সবচেয়ে বেশী। এইজন্য আপেক্ষিক গুরুত্ব বিচারে কোন পদার্থের ঘনত্ব ঐ উষ্ণতায় জলের ঘনত্বের সহিত তুলনা করা হয়। সূক্ষ্ম মাপের প্রয়োজন

33. A flat boat is 20 ft by 30 ft. in area. How much will it be lowered when carrying a 1-ton automobile ? (Gau. Univ. '57)

[*Ans* : 0·72 inch nearly.]

34. It is desired to find what proportion of the bulk of a floating body is submerged in a given liquid. Explain how you would solve the problem.

A raft is made of five cedar logs. 1 ft. in diameter and 6 ft. long. Assuming the wood to have a specific gravity of 0·60, find the maximum load the raft can support. Assume the density of cedar to be 35 lb/cft.

(Gau. Univ. '58) [*Ans* : 329·7 lb.]

35. Distinguish between centre of gravity and centre of buoyancy. State the laws of floating bodies. (Utkal Univ. '56)

36. A metal cylinder of iron floats vertically and fully immersed in a vessel containing mercury and water. Find the ratio of the lengths of the cylinder immersed in water to that immersed in mercury. [Sp. gr. of mercury = 13·6 ; Sp. gr. of cylinder = 8·56] (Utkal Univ. '57)

[*Ans* : 2 : 3]

37. Why is it that an iron ship floats in water even though iron is heavier than water ? Enunciate the conditions of flotation of a body.

(C. U. '59)

38. What is meant by the pressure at a point inside a liquid ? By what experimental arrangement would you prove that water exerts pressure in all directions equally at the same point ? Find the value of the pressure at a point x cms. below the surface of a liquid of density ρ.

(C U. '59)

অষ্টম পরিচ্ছেদ

আপেক্ষিক গুরুত্ব

[Specific Gravity]

8-1. Density and Specific Gravity (ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব)—একক আয়তন স্থানে যে পরিমাণ পদার্থ থাকে তাহাকে, অর্থাৎ একক আয়তনের ভরকে, পদার্থের **Density (ঘনত্ব)** বলে। বস্তুর ভর M এবং আয়তন V হইলে, উহার ঘনত্ব

$$\rho = \frac{M}{V}$$

ঘনত্ব প্রকাশ করিতে প্রতি একক আয়তনে কতখানি ভর তাহাই লিখিতে হয়। অতএব ঘনত্ব $\frac{\text{gm}}{\text{cm}^3}$ বা $\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$ এই প্রকার এককে প্রকাশিত হয়।

কোন পদার্থের **Specific Gravity (আপেক্ষিক গুরুত্ব)** বলিতে উহা জল অপেক্ষা কতগুণ ভারী তাহাই বুঝায়, অর্থাৎ

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{সম আয়তন জলের ভর}}$$

ভর এবং ওজন সমানুপাতিক বলিয়া আমরা বিকল্পে বলিতে পারি,

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{সম আয়তন জলের ওজন}}$$

বস্তুর ভর M, আয়তন V এবং সম আয়তন জলের ভর M' হইলে আপেক্ষিক

$$\frac{M}{M'} = \frac{M/V}{M'/V} = \frac{\text{পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}} = \frac{\rho}{\rho'}$$

সুতরাং দেখা যাইতেছে **কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব, উহার ঘনত্বের সহিত জলের ঘনত্বের অনুপাতের সমান**। আপেক্ষিক গুরুত্ব দুইটি ভর বা দুইটি ঘনত্বের অনুপাত বুঝায় বলিয়া **উহা সংখ্যা মাত্র**।

জলের ঘনত্ব উষ্ণতার সহিত পরিবর্তিত হয় এবং চার ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব সবচেয়ে বেশী। এইজন্য আপেক্ষিক গুরুত্ব বিচারে কোন পদার্থের ঘনত্ব ঐ উষ্ণতায় জলের ঘনত্বের সহিত তুলনা করা হয়। সূক্ষ্ম মাপের প্রয়োজন

না হইলে বিভিন্ন উষ্ণতায় জলের ঘনত্বের প্রভেদ উপেক্ষা করা যাইতে পারে। আমাদের দেশে গরমের দিনে ঘরের ভিতরের উষ্ণতায় (প্রায় 30°-35° সেন্টিগ্রেডে) জলের ঘনত্ব চার ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় জলের ঘনত্বের তুলনায় প্রায় হাজারে পাঁচ ভাগ কম।

সি-জি-এস্ এককে জলের ঘনত্ব প্রতি ঘন-সেন্টিমিটারে এক গ্র্যাম, অর্থাৎ $\rho = 1 gm/cm^3$। অতএব এই একক ব্যবহার করিলে আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনত্বের মান একই হয়। লোহার ঘনত্ব 7·5 gm/cm^3, অতএব উহার

আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{7{\cdot}5 \ gm/cm^3}{1 \ gm/cm^3} = 7{\cdot}5$

এফ্-পি-এস্ এককে জলের ঘনত্ব প্রতি ঘন-ফুটে 62·43 পাউণ্ড। তাই এ ক্ষেত্রে কোন পদার্থের ঘনত্ব

$$\rho = \text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} \times 62{\cdot}43 \ lb/ft^3.$$

আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়—আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিবার বহুবিধ উপায় আছে। সকল উপায়ের মূলতত্ত্ব একই। বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করিতে হইলে তাহার ওজন (বা ভর) এবং সম-আয়তন জলের ওজন (বা ভর) বাহির করিয়া উভয়ের অনুপাত লইলেই আপেক্ষিক গুরুত্ব পাওয়া যায়। আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের যে সকল বিভিন্ন উপায় নীচে বলা হইয়াছে তাহাতে বস্তুর সম-আয়তন জলের ভর বাহির করিবার উপায় বিভিন্ন। আমরা প্রথমে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিবার উপায় আলোচনা করিব।

8-2. কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়—হাইড্রোস্ট্যাটিক ব্যালান্স, নিকলসন হাইড্রোমিটার, specific gravity bottle প্রভৃতি বিভিন্ন যন্ত্রের সাহায্যে ইহা করা যাইতে পারে।

(1) হাইড্রোস্ট্যাটিক ব্যালান্স (Hydrostatic balance) দ্বারা—হাইড্রোস্ট্যাটিক ব্যালান্স বা ওদ তুলার সাহায্যে কোন বস্তুকে বায়ুতে বা জলে নিমজ্জিত অবস্থায় সহজে ওজন করা যায়। পরীক্ষাধীন বস্তু জল অপেক্ষা ভারী বা হালকা হইতে পারে। সেজন্য প্রক্রিয়া বিভিন্ন হইবে।

(ক) **বস্তু যখন জল অপেক্ষা ভারী**—বস্তুটি প্রথমে বায়ুতে ওজন করা হইল। তাহার পর জলে ভেজে না এমন একগাছি হাল্কা সুতা (যেমন ঘোড়ার

লেজের লোম—বালামৃচি) বাঁধিয়া জলে ডুবান অবস্থায় উহার আপাত ওজন বাহির করা হইল।

বায়ুতে বস্তুর ভর $= M$ gm,

জলে „ „ $= M'$ gm ;

$\therefore$ বস্তুর সমান আয়তন জলের ভর = স্থানচ্যুত জলের ভর

$= (M - M')$gm।

$\therefore$ সংজ্ঞা অনুসারে বস্তুটির

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{M}{M - M'}$$

উদাহরণ—কোন বস্তুর ওজন বায়ুতে 420gm এবং জলে 350gm। উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির কর।

বস্তুকর্তৃক স্থানচ্যুত জলের ওজন = 420gm − 350gm = 70 gm ;

ইহাই সম-আয়তন জলের ওজন বলিয়া

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{420 \text{ gm}}{70\text{gm}} = 6$$

(খ) **বস্তু যখন জল অপেক্ষা হাল্কা**—এক্ষেত্রে জলের মধ্যে রাখিয়া ওজন করার জন্য বস্তুটির সহিত আর একটি ভারী বস্তু বাঁধিয়া দেওয়া হয়। ইহাকে sinker বলে। প্রথমে (1) বস্তুটি বায়ুতে ওজন করা হয়। পরে বস্তুটির সহিত একগাছি লম্বা সুতার সাহায্যে sinker বাঁধিয়া (2) বস্তুটি বায়ুতে ও sinker জলে রাখিয়া উহাদের একত্র ওজন লওয়া হয়। তাহার পর (3) sinker ও বস্তু একত্র বাঁধিয়া উভয়কেই জলে ডুবাইয়া ওজন করা হয়। ধরা যাউক,

বায়ুতে বস্তুর ভর $= M$ gm

বস্তুটি বায়ুতে ও sinker জলে ডুবান অবস্থায় উহাদের ভর $= M_1$gm,

বস্তু ও sinker উভয়ে জলে ডুবান অবস্থায় উহাদের ভর $= M_2$gm।

$\therefore$ বায়ুতে বস্তুর ভর—জলে বস্তুর ভর $= (M_1 - M_2)$gm, এবং ইহাই স্থানচ্যুত (অর্থাৎ বস্তুর সম-আয়তন) জলের ভর।

$$\therefore \text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{M}{M_1 - M_2}$$

(গ) **বস্তু যখন জলে দ্রবণীয়**—এরূপ বস্তুকে জলে ডুবান চলিবে না। ইহার জন্য এমন একটি তরল পদার্থ লওয়া হইল যাহাতে বস্তুটি দ্রবণীয় নয়। ধরা যাউক,

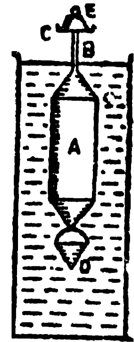
এই তরল পদার্থটির আপেক্ষিক গুরুত্ব জানা আছে। এইবার (ক)এ বর্ণিত উপায়ে ঐ তরল পদার্থটি সাপেক্ষে বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হইল। ইহাকে তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্বদ্বারা গুণ করিলেই বস্তুটির প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব (জল-সাপেক্ষে) পাওয়া যাইবে, কারণ

$$\text{বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{উহার ভর}}{\text{সম-আয়তন জলের ভর}}$$

$$= \frac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{সম-আয়তন তরল পদার্থের ভর}} \times \frac{\text{সম-আয়তন তরল পদার্থের ভর}}{\text{সম-আয়তন জলের ভর}}$$

= তরল পদার্থের সাপেক্ষে বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব × তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব।

(2) **নিকলসন হাইড্রোমিটার (Nicholson's hydrometer) দ্বারা**—এই যন্ত্রে ধাতু-নির্মিত ফাঁপা একটি স্তম্ভকের উপরাংশে (8·1 চিত্রের A) একটি সরু লম্বা দণ্ড B লাগান থাকে। উহার উপর ওজন রাখিবার একটি পাত্র C আছে। Aর নিম্নাংশে শঙ্কুর আকারের (Cone-shaped) একটি পাত্র Dতে সীসার গুলি থাকে। ইহাই হইল নিকলসন হাইড্রোমিটার। জলে ছাড়িয়া দিলে D পাত্রে সীসা থাকিবার জন্য যন্ত্রটি আংশিক নিমজ্জিত থাকিয়া খাড়াভাবে ভাসিতে থাকে।



চিত্র 8·1

Bর মাঝামাঝি একটি দাগ দিয়া C পাত্রে এমন ওজন (E) চাপান হয় যাহাতে যন্ত্রটি ঐ দাগ পর্যন্ত জলে ডুবিয়া থাকে। ধরা যাউক এই ওজনের ভর $= m_1$ gm। এইবার যে বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করিতে হইবে তাহা উপরের পাত্রে রাখিয়া পাত্রে উপযুক্ত ওজন ($m_2$gm) চাপাইয়া যন্ত্রটিকে আবার চিহ্ন পর্যন্ত ডুবান হয়। বস্তুটি নীচের পাত্রে রাখিয়া যন্ত্র দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে উপরে m_3 gm রাখা প্রয়োজন হইলে

বায়ুতে বস্তুটির ভর $= (m_1 - m_2)$gm ;

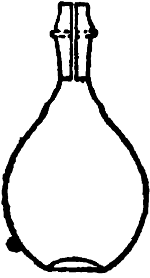
জলে " " $= (m_1 - m_3)$gm ;

অতএব সম-আয়তন জলের ভর $= (m_1 - m_2) - (m_1 - m_3)$

$= (m_3 - m_2)$gm।

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{m_1 - m_2}{m_3 - m_2}$$

(3) **গুরুত্ব-মাপক বোতলের (Specific Gravity Bottle) সাহায্যে**—গুরুত্ব-মাপক বোতলে (8·2 চিত্র) কাচের ছোট একটি বোতলের মুখ ঘসা কাচের ছিপি দিয়া বন্ধ করা। ছিপিটির মধ্য দিয়া একটি সরু ছিদ্র আছে। ছিপি খুলিয়া বোতলটিকে প্রথমে জল ভর্তি করিয়া যদি তাহার পর ছিপিটি সাবধানে আঁটা যায় তবে অতিরিক্ত জল ঐ সরু ছিদ্র দিয়া বাহির হইয়া যাইবে।



চিত্র 8·2

প্রথমে বোতলটি ভাল করিয়া ধুইয়া ও সম্পূর্ণরূপে শুকাইয়া তাহার ওজন লওয়া হইল। এইবার যাহার আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করিতে হইবে, তাহা গুঁড়া করিয়া বা ছোট ছোট টুকরা করিয়া উহার খানিকটা বোতলের মধ্যে ভরিয়া ওজন করা হইল। পরে টুকরাগুলি সহ বোতলটি জলভর্তি করিয়া আবার ওজন লওয়া হইল। এইবার গুঁড়া বা টুকরাগুলি বাহির করিয়া দিয়া বোতলটিকে কেবলমাত্র জলপূর্ণ করিয়া ওজন দেখা হইল। ধরা যাউক

$$\text{বোতলটির ভর} = m_1 \text{ gm};$$

$$(\text{বোতল} + \text{বস্তু})\text{র ভর} = m_2 \text{ gm};$$

$$(\text{বোতল} + \text{বস্তু} + \text{জল})\text{এর ভর} = m_3 \text{ gm};$$

(এই ওজন লইবার সময়ে বোতলে যে পরিমাণ জল আছে তাহার আয়তন = বোতলের ফাঁপা অংশের আয়তন − বস্তুর আয়তন)

$$(\text{বোতল} + \text{বোতল ভর্তি জল})\text{এর ভর} = m_4 \text{ gm};$$

$$\therefore \quad \text{বস্তুর ওজন} = (m_2 - m_1)\text{gm};$$

$$\text{বোতলটির ফাঁপা অংশের আয়তনের জলের ভর} = (m_4 - m_1)\text{gm};$$

$$\therefore \quad \text{বস্তুর সম-আয়তন জলের ভর} = \{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)\} \text{ gm}$$

$$\therefore \text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_1 + m_2 - m_3}$$

8-3. তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

(1) **হাইড্রোস্ট্যাটিক ব্যালান্স দ্বারা**—এমন একটি বস্তু লইতে হইবে যাহা জলে বা পরীক্ষণীয় তরল পদার্থে ডোবে অথচ কোনটিতেই গলে না। প্রথমে উহাকে বায়ুতে ওজন করা হইল। পরে উহাকে একবার জলে ডুবাইয়া ও একবার তরল পদার্থে ডুবাইয়া ওজন করা হইল। ধরা যাউক

বায়ুতে বস্তুটির ভর $= m_1$ gm,

জলে „ „ $= m_2$ gm,

তরল পদার্থে „ „ $= m_3$ gm,

∴ বস্তুটির সম-আয়তন জলের ভর $= (m_1 - m_2)$gm

এবং উহার সম-আয়তন তরল পদার্থের ভর $= (m_1 - m_3)$gm।

$$\therefore \text{ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2}$$

উদাহরণ ঃ কোন বস্তুর বায়ুতে ওজন 420 gm. জলে 350 gm. ও কোহলে 365 gm। কোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

স্থানচ্যুত কোহলের ভর $= 420 - 365 = 55$ gm

স্থানচ্যুত জলের ভর $= 420 - 350 = 70$ gm

$$\therefore \text{ কোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{55 \text{ gm}}{70 \text{ gm}} = 0{\cdot}786$$

(2) **নিকলসন হাইড্রোমিটার দ্বারা**—প্রথমে হাইড্রোমিটারটি দাগ পর্যন্ত জলে ডুবাইতে কত ওজন লাগে দেখা হইল। পরে তরল পদার্থে হাইড্রোমিটারটি একই দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে কত ওজন লাগে দেখা হইল। এইবার যন্ত্রটির ওজন করা একটি সাধারণ তুলাযন্ত্রের সাহায্যে বাহির করা হইল। ধরা যাউক

হাইড্রোমিটারের ভর $= m_1$ gm,

জলে উহাকে দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে যে ওজন লাগে তাহার ভর $= m_2$ gm,

তরল পদার্থে „ „ „ „ „ „ „ „ „ $= m_3$ gm

অতএব যন্ত্রের দাগ পর্যন্ত সম-আয়তন জলের ভর $= (m_2 + m_1)$ gm

এবং „ „ „ „ তরল পদার্থের „ $= (m_3 + m_1)$ gm।

$$\therefore \text{ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{m_3 + m_1}{m_2 + m_1}$$

(3) গুরুত্ব-মাপক বোতল দ্বারা—প্রথমে বোতলটির ওজন লওয়া হইল। পরে উহাকে যথাক্রমে জলভর্তি ও তরল পদার্থে ভর্তি করিয়া ওজন করা হইল।

ধরা যাউক

বোতলের ভর $= m_1$ gm,

(বোতল + জল)এর ভর $= m_2$ gm,

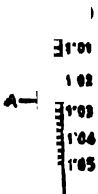
(বোতল + তরল পদার্থ)এর ভর $= m_3$ gm।

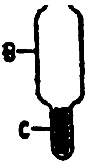
$\therefore$ বোতলের সম-আয়তন তরল পদার্থের ভর $= (m_3 - m_1)$ gm।

$\therefore$ বোতলের সম-আয়তন জলের ভর $= (m_3 - m_1)$gm।

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1}$$

(4) সাধারণ হাইড্রোমিটার (Common Hydrometer) দ্বারা—8·3 চিত্রে সাধারণ হাইড্রোমিটার দেখান হইয়াছে। উহাতে A কাচের একটি সরু নল এবং উহার ব্যাস সর্বত্র সমান। নলের নীচের দিকে একটি কাচের বাল্‌ব B সংযুক্ত আছে। বাল্‌বটির নীচে আর একটি ছোট বাল্‌ব Cর মধ্যে পারদ বা সীসা ভরিয়া উহাকে এমন ভাবে তৈরারী করা হয় যে কোন তরল পদার্থের মধ্যে ছাড়িয়া দিলে হাইড্রোমিটারটি ঠিক খাড়াভাবে ভাসিতে থাকে। ভাসমান বস্তু নিজের সমান ওজনের তরল পদার্থ স্থানচ্যুত করে বলিয়া এইরূপ হাইড্রোমিটার ভারী তরল পদার্থে অল্প ডুবিবে এবং হাল্‌কা তরল পদার্থে বেশী ডুবিবে। যন্ত্রটির নলের গায়ে আপেক্ষিক গুরুত্ব দেখাইবার জন্য একটি স্কেল কাটা আছে।





চিত্র 8·3

কোন তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করিতে হইলে যন্ত্রটিকে তাহার মধ্যে ছাড়িয়া দিয়া যন্ত্রের কোন্ দাগ পর্যন্ত ডোবে তাহা দেখা হয়। ঐ দাগই তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বলিয়া দেয়। এইরূপ হাইড্রোমিটারের সাহায্যে দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপিয়া দুধ খাঁটি কি জল-মিশান তাহা বুঝা যায়।

সাধারণ হাইড্রোমিটার প্রস্তুত-প্রণালী—সাধারণ হাইড্রোমিটারের প্রস্তুত-প্রণালী নিম্নের ন্যায়। ধরা যাউক জলের মধ্যে উহা P দাগ পর্যন্ত ডোবে বা জলে ডোবা অংশটির আয়তন V। মনে করা যাউক ρ আপেক্ষিক গুরুত্বের তরলে উহা Q পর্যন্ত ডোবে এবং $PQ = x$ cm। সরু নলের 1 cm অংশের আয়তন v এবং জলের গুরুত্ব 1 ধরিলে, উভয় ক্ষেত্রে স্থানচ্যুত তরলের ওজন সমান বলিয়া

$$V \times 1 = (V - xv)\rho$$

$$\text{বা } \frac{V}{\rho} - V = -xv \text{ বা } x = \frac{V}{v}\left(1 - \frac{1}{\rho}\right)$$

V এবং v জানা থাকিলে ρর একটি নির্দিষ্ট মান ধরিয়া x কত হয় হিসাব করা হইল। P বিন্দু হইতে x দূরত্বে দাগ কাটিয়া সেইখানে ρর পূর্বনির্দিষ্ট মান চিহ্নিত করিয়া রাখা হইল। এইরূপে বিভিন্ন গুরুত্বের দাগ কাটিয়া হাইড্রোমিটার কার্যোপযোগী করা হয়।

উদাহরণ : কোন হাইড্রোমিটার জলে যতদূর ডোবে 1·5 গুরুত্বের তরলে তাহা অপেক্ষা 10 cm কম ডোবে। অন্য কোন তরলে জল অপেক্ষা 5 cm কম ডুবিলে সেই তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

উপরের $x = \frac{V}{v}\left(1 - \frac{1}{\rho}\right)$ সমীকরণ হইতে আমরা পাই

$$\text{গুরুত্ব যখন 1·5 তখন } \frac{V}{v}\left(1 - \frac{1}{1\cdot5}\right) = 10$$

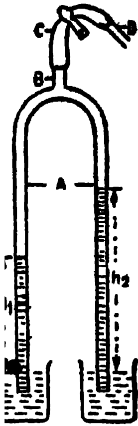
$$\text{এবং গুরুত্ব যখন } \rho \text{ তখন } \frac{V}{v}\left(1 - \frac{1}{\rho}\right) = 5$$

$$2 = \frac{1 - \frac{1}{1.5}}{1 - \frac{1}{\rho}} \text{ বা } 2 - \frac{2}{\rho} = \frac{\cdot5}{1\cdot5} = \frac{1}{3}$$

$$\therefore \frac{2}{\rho} = 2 - \frac{1}{3} = \frac{5}{3}, \text{ অর্থাৎ } \rho = \frac{6}{5} = 1\cdot2$$

(5) হেয়ারের যন্ত্র (Hare's Apparatus) দ্বারা—এই যন্ত্র দ্বারা তরল পদার্থের ঘনত্ব বা আপেক্ষিক গুরুত্ব তুলনা করা যায়। ইহাতে (8·4 চিত্র) একটি U-নল Aর মধ্যভাগে একটি ছোট নল B সংযুক্ত থাকে। এই নলটি একটি

রবারের নল Cর সাহায্যে অন্য একটি কাচের নল Dর সহিত সংযুক্ত। রবারের নলটি একটি ক্লিপের সাহায্যে বন্ধ করা যায়। U-নলের বাহু দুইটি বিভিন্ন তরল-পদার্থ-পূর্ণ পাত্রের মধ্যে ডুবাইয়া দেওয়া হয়। এইবার রবারের নল হইতে ক্লিপ খুলিয়া মুখ দিয়া খানিকটা বাতাস উহা হইতে টানিয়া লইলে ভিতরে বাতাসের চাপ কমিয়া যাওয়ায় উভয় নলেই খানিকটা তরল পদার্থ উপরে উঠে। ক্লিপ আঁটিয়া দিলে উভয় বাহুর তরল পদার্থ যথাস্থানে স্থির হইয়া থাকে।



চিত্র 8 4

পাত্রস্থ তরলের পৃষ্ঠে চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। ঐ পৃষ্ঠের সহিত একই সমতলে অবস্থিত নলের মধ্যস্থ যে কোন বিন্দুতেও চাপ একই। এক নলে তরল পদার্থ যদি পাত্রস্থ তরলের পৃষ্ঠ হইতে h_1 উচ্চতায় উঠিয়া থাকে এবং P_1 যদি নলের মধ্যস্থ বায়ুর চাপ হয়, তাহা হইলে,

$$P_1 + h_1\rho_1 g = P = \text{বায়ুমণ্ডলের চাপ।}$$

এখানে ρ_1 প্রথমোক্ত তরলের ঘনত্ব। অন্য তরলের ঘনত্ব ρ_2 এবং উচ্চতা h_2 হইলে অনুরূপে পাওয়া যায়

$$P_1 + h_2\rho_2 g = P$$

$$\therefore \quad h_1\rho_1 g = h_2\rho_2 g$$

অর্থাৎ $$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

h_1 ও h_2 মাপিলেই ρ_1 ও ρ_2র অনুপাত পাওয়া যাইবে।

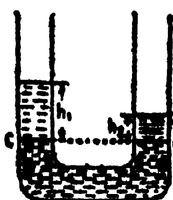
এইরূপে যে কোন দুইটি তরল পদার্থের ঘনত্ব তুলনা করা যাইতে পারে। যদি একটি তরল পদার্থ জল হয়, এবং ρ_2 জলের ঘনত্ব ধরিলে তরলের আপেক্ষিক

$$\text{গুরুত্ব} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

মনে রাখিতে হইবে এই h_1 ও h_2 যথাযথ পাত্রস্থ তরল পদার্থের পৃষ্ঠ হইতে নির্ণীত উচ্চতা।

(6) U-নলের সাহায্যে—যদি দুইটি তরল পদার্থ পরস্পরের সহিত না মেশে তবে তাহাদের ঘনত্ব একটি U-নলের সাহায্যে খুব সহজে বাহির করা যায়।

নলের মধ্যে একটি তরল পদার্থ কিছু পরিমাণে ঢালিয়া তাহার পর অন্যটি ঢালা হইল। উহাদের বিভেদ-তল (Surface of separation) C (8·5 চিত্র) হইতে একটি অনুভূমিক রেখা CE অঙ্কিত করা হইল। এই তল হইতে উভয় নলের তরল পদার্থের উচ্চতা যথাক্রমে h_1 ও h_2 এবং উহাদের ঘনত্ব ρ_1 ও ρ_2 হইলে



চিত্র 8·5

Cতে মোট চাপ $= P + h_1\rho_1 g$ (P= বায়ুমণ্ডলের চাপ)

Eতে মোট চাপ $= P + h_2\rho_2 g$।

যেহেতু C এবং E তরল পদার্থের মধ্যে একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থিত, অতএব উভয় স্থানে চাপও সমান হইবে।

$$\therefore \quad P + h_1\rho_1 g = P + h_2\rho_2 g$$

অতএব $h_1\rho_1 g = h_2\rho_2 g$ অর্থাৎ $\dfrac{\rho_1}{\rho_2} = \dfrac{h_2}{h_1}$

এইরূপে h_2 ও h_1 মাপিয়া দুইটি তরল পদার্থের ঘনত্ব তুলনা করা যায়। এক্ষেত্রেও একটি তরল পদার্থ যদি জল হয়, তবে পূর্ব্বের মত h_2 ও h_1 মাপিযা আমরা অন্য তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহিব কবিতে পাবি।

উদাহরণ—(1) কোন বস্তুর বায়ুতে ওজন 300 gm। 0 9 আপেক্ষিক গুরুত্বের একটি তরল পদার্থে উহার ওজন 270 gm। জলে উহার ওজন কত হইবে? উহার আযতন ও আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

তরল পদার্থে বস্তুটির ওজন 300—270 = 30 gm কমিযা যায।

∴ উহার সম-আয়তন তরল পদার্থের ওজন = 30 gm।

এই ওজনের তরলের আয়তন $= \dfrac{30 \text{ gm}}{9 \text{ gm/c.c}} = \dfrac{30}{.9}\text{ c.c} = \dfrac{100}{3}\text{ c.c}$।

অতএব বস্তুটির আয়তন $= \dfrac{100}{3}$ c.c.

∵ যেহেতু জলে বস্তুটির ওজনের হ্রাস সম-আয়তন (অর্থাৎ $\dfrac{100}{3}$ c.c.) জলের ওজনের সমান,

∴ জলে উহার ওজন হইবে $300 \text{ gm} - \dfrac{100}{3}\text{ gm} = \dfrac{800}{3}\text{ gm}$ এবং উহার

আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}} = \dfrac{300}{\frac{100}{3}} = 9$

(2) রূপার খাদ মিশ্রিত একখণ্ড সোনার ওজন বায়ুতে 20 gm ও জলে 18·7 gm। রূপার ও সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে 19·3 ও 10·5। উক্ত 20 gm-এ মোট কত সোনা আছে?

ধরা যাউক সোনার পরিমাণ x gm, তাহা হইলে রূপার পরিমাণ $20-x$ gm।

জলে ডুবাইলে বস্তুর ভরের হ্রাস = সম-আয়তন জলের ভর = $\frac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব}}$।

$\therefore$ x gm সোনার ভরের হ্রাস হইবে $= \frac{x}{19\cdot3}$ gm।

$20-x$ gm রূপার ভরের হ্রাস হইবে $= \frac{20-x}{10\cdot5}$ gm।

$\therefore$ ওজনের মোট হ্রাস $= \left(\frac{x}{19\cdot3} + \frac{20-x}{10\cdot5}\right)$gm।

পরীক্ষার সাহায্যে পাওয়া গিয়াছে এই হ্রাস $= 20 - 18\cdot7 = 1\cdot3$ gm,

অর্থাৎ $\left(\frac{x}{19\cdot3} + \frac{20-x}{10\cdot5}\right)$gm $= 1\cdot3$ gm।

অতএব $x = 13\cdot9$ gm।

(3) 1 c.c সীসার সহিত 21 c.c কাঠ জুড়িয়া দেওয়া হইল। সীসার আপেক্ষিক গুরুত্ব 11·4, কাঠের ·5। উহা ভাসিবে কি ডুবিবে?

সীসার আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{\text{1 c.c সীসার ভর}}{\text{1 c.c জলের ভর}} = \frac{\text{1 c.c সীসার ভর}}{\text{1 gm}} = 11\cdot4$

$\therefore$ 1 c.c. সীসার ভর $= 11\cdot4$ gm।

অনুরূপে 21 c c. কাঠের ভর $= 21 \times \cdot5 = 10\cdot5$ gm।

উহাদের মোট ভর $= 21\cdot9$ gm.

উহাদের মোট আয়তন $= 22$ c.c.

22 c.c জলের ভর $= 22$ gm।

সম-আয়তন জলের ভর অপেক্ষা বস্তুর ভর কম হওয়াতে উহা ভাসিবে।

(4) 10 gm ভরের একটি বস্তু তাহার তিন-চতুর্থাংশ জলের উপরে রাখিয়া ভাসিতেছে। উহার আয়তন ও আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির কর।

ধরা যাউক বস্তুটির আয়তন v c.c;

$\therefore$ স্থানচ্যুত জলের আয়তন $= \frac{v}{4}$। এই জলের ভর $= \frac{v}{4}$ gm।

যেহেতু জলে ভাসিতেছে অতএব বস্তুটির ভর = স্থানচ্যুত জলের ভর।

$\therefore$ $10 = \frac{v}{4}$ অর্থাৎ $v = 40$ c.c

এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{10}{40} = \cdot25$

Exercises

1. Distinguish between density and specific gravity. Describe how you would determine the density of a solid soluble in water.

2. A glass ball weighs 188 gm in air, 116 gm in water and 125 gm in turpentine. Calculate the density of the glass and the specific gravity of turpentine. [*Ans :* (*i*) 2·61 gm/cm³ ; (*ii*) ·875.]

3. An ice cube floats in a glass of water with $^1/_{11}$th of its volume projecting above the liquid surface. Calculate the specific gravity of ice. How will melting of the ice affect the level of the water in the glass ?

[*Ans :* $^{10}/_{11}$.]

4. A steel plate 1 cm thick floats in mercury. How much will the plate project above the surface ? Given sp. gr. of steel = 7·85 and that of mercury = 13·6. [*Ans :* 0·423 cm.]

5. Osmium and lithium are the heaviest and lightest metals known. Their specific gravities are 22·5 and 0·534 respectively. How many cubic centimetres of osmium attached to 10 c.c. of lithium will produce a combination that would just float completely immersed in mercury ?
(Sp. gr. of mercury = 13·6) [*Ans :* 14·9 c.c.]

6. A sinker weighs 16 gm in air and 10 gm in water. It weighs 8 gm in another liquid. What is the sp. gr. (*i*) of the liquid, (*ii*) of the sinker ?

[*Ans :* (*i*) $\frac{4}{3}$, (*ii*) $2\frac{2}{3}$]

7. A piece of cork weighs 2 gm in air. A sinker alone in water weighs 50 gm. When the sinker is attached to the cork and both are submerged in water, their combined weight is 44 gm. What are the volume and the density of the cork ? [*Ans :* (*i*) 8 c.c. ; (*ii*) ·25 gm/c.c.]

8. At one time the alloy used for silver coins was 90 parts silver and 10 parts copper by weight. What is the density of the alloy ? (Given sp. gr. of silver = 10·5, of copper = 8·8). [*Ans :* 10·3 gm/cm³.]

9. A piece of sodium weighs 0·34 gm in oil whose sp. gr. is 0·8 and 0·54 in oil whose sp. gr. is 0·7. Find the mass, sp. gr. and volume of the specimen. [*Ans :* (*i*) 1·94 gm ; (*ii*) ·97 ; (*iii*) 2 c.c.]

10. A U-tube contains mercury, density 13·6 gm/c.c. A liquid of density 1·23 gm/c.c. is poured into one limb so that the difference between the mercury levels is now 3·69 cm. What is the height of the column of liquid ?

Can you make any statement concerning the mass of the liquid which has been added ?

[*Ans. :* 40·8 cm. No ; mass added depends on the cross-section of the limb.]

11. 60 3 gms have to be placed on the pan of a hydrometer to sink it to the mark in water and 6·8 gm only in alçohol. If the hydrometer weighs 200 gm, what is the specific gravity of alcohol ?

[*Ans :* sp. gr. ·79]

12. Given that a body *A* weighs 7·55 gm in air, 5·17 gm in water, and 6·35 gm in another liquid *B*. Calculate from these data the density of the body *A* and that of liquid *B*. [*Ans :* 3·17 gm/c.c. ; 0·504gm/c.c.]

13. A specific gravity bottle weighs 14·72 gms when empty, 39·74 gms when filled with water and 44·85 gms when filled with a solution of common salt. What is the specific gravity of the solution ? [*Ans* : 1·2]

14. A Nicholson's hydrometer sinks to a certain mark in a liquid of sp. gr, 0 6 but it takes 120 gms to sink it to the same mark in water. What is the weight of the hydrometer ? [*Ans :* 180 gms.]

15. A hollow stopper weighing 23·4 gm is made of glass of sp. gr. 2 50. Its apparent weight when immersed in water is 3·90 gm. What is the volume of the internal cavity ? [*Ans :* 10 1 c.c.]

16. A gold ring set with a diamond weighs 4·000 gm in air and 3·720gm in water. Find the weight of the diamond if the specific gravity of the gold is 19 3 and that of diamond is 3·50. [*Ans* : 0·311 gm.]

17. A man can float in sea-water with only part of his body immersed. In fresh water an upward force of 4 lb. is required to keep him afloat with the same amount immersed. Find the man's weight, assuming that a cu. ft. of sea-water weighs 64 lb, and a cu. ft of fresh water weighs 62·5 lb. If when the supporting force of 4 lb. is removed, the man still floats, find what additional volume is immersed.

[*Ans* : $170\frac{2}{3}$ lb. , 0 064 cu. ft.]

18. Define density. How is it different from specific gravity ? What is the density of water in the English system and in the Metric system ? How would you determine the volume of an irregular piece of rock by means of a graduated cylinder partly filled with water. The length of a rectangular 100 pound cake of ice is 1·75 ft. and it is 1 foot square at the end. Find the density of the cake. (C. U. '48)

19. Describe a common hydrometer. How does it differ from a Nicholson's hydrometer ? How would you determine the specific gravity of a liquid with the help of a Nicholson's hydrometer ? A Nicholson's hydrometer sinks to a certain mark in a liquid of sp. gr. 0·6, but it takes 120 gm to sink it to the same mark in water. What is the weight of the hydrometer ? (C. U. '38) [*Ans* : 180 gm.]

20. Distinguish between density and specific gravity. A flask when full of water weighs 75 gm.; when full of mercury of density 13·6 gm/c.c., it weighs 705 gm. and when full of sulphuric acid it weighs 177 gm. Find the density of the acid. (C. U. '52) [*Ans :* 1·84 gm/c.c.]

[*Hint :* Let v = volume of flask, m its mass and d the density of acid. Then $m+v\times 1=75$, $m+v\times 13{\cdot}6=705$ and $m+v\times d=117$.]

21. Describe a constant weight hydrometer and explain how you would construct and use it to measure the specific gravity of a liquid. The densities of three liquids are in the ratio 1 : 2 : 3. What will be the relative densities of mixtures made by combining (*a*) equal volumes, (*b*) equal weights ? (C. U. '54 ; Gau. Univ. '53)

[*Ans* : (*a*) 2 ; (*b*) $\frac{18}{11}$.]

22. Distinguish between density and specific gravity. Enunciate the principle of Archimedes and apply it to determine the specific gravity of a substance soluble in water. (C. U. '58)

23. Distinguish between density and specific gravity of a body. You are provided with a hollow glass tube, with a bulb blown at its lower end and other necessary materials. State how you would preceed to construct a common hydrometer and explain how you would graduate it. What is the effect of the size of the bulb and the thickness of the stem on the accuracy of measurement ? (C. U. '56)

24. Define specific gravity and buoyancy. Distinguish between density and specific gravity. Describe a direct-reading hydrometer and briefly explain its action. (Utkal Univ. '56)

25. Describe a Nicholson's hydrometer and explain how it is used for finding the specific gravities of liquids and solids. A Nicholson's hydrometer requires a weight of 2·5 gm to sink it to the fixed mark in a liquid of specific gravity 1·85 and a weight of 0·75 gm to sink it up to the same mark in water. Find the weight of the hydrometer. (Utkal Univ. '57) [*Ans* : 4·3 gm nearly.]

26. State and explain the principle of Archimedes. Apply it to determine the volume of a body which sinks in water. A specific gravity bottle completely filled with water, with mercury and with copper sulphate solution weighs respectively 45 gm, 297 gm, and 49 gm. Calculate the density of the solution, that of mercury being 13·6 gm per c.c.

[See Q. 20. *Ans* : 1·2 gm per c.c.]

(*Higher Secondary Examination, W. B., '60*)

নবম পরিচ্ছেদ

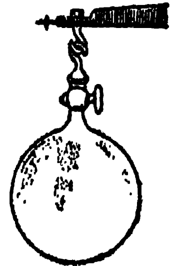
বায়বীয় পদার্থের ধর্ম

(Properties of Gases)

9-1. গ্যাস ও তরল পদার্থের সংজ্ঞা পূর্বেই দেওয়া হইয়াছে। বহু ক্ষেত্রে উহাদের মধ্যে মিল দেখিতে পাওয়া যায়। সেজন্য গ্যাস ও তরল পদার্থকে সাধারণভাবে Fluid (বা প্রবাহী) নামে অভিহিত করা হয়। তরল পদার্থের ধর্ম আমরা পূর্বের অধ্যায়ে আলোচনা করিয়াছি। এইবার গ্যাসের ধর্ম আলোচনা করিব।

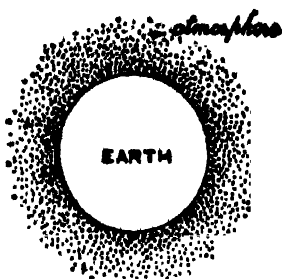
● গ্যাস সম্বন্ধে আলোচনা করিতে আমরা বায়ুকে উদাহরণ স্বরূপ ধরিব। বায়ু অক্সিজেন, নাইট্রোজেন প্রভৃতি কয়েকটি গ্যাসের সংমিশ্রণে গঠিত। বায়ুর যে সমস্ত ধর্মের কথা আলোচনা করা হইবে, তাহা সাধারণভাবে সমস্ত গ্যাস সম্বন্ধেই প্রযোজ্য।

9-2. বায়ুর ওজন—মনে হইতে পারে যে বায়বীয় পদার্থের কোন ওজন নাই। কিন্তু নিম্নলিখিত পরীক্ষাদ্বারা প্রমাণ করা যায় যে সমস্ত পদার্থের মত গ্যাসেরও ওজন আছে। একটি ফাঁপা বড় গোলকের সহিত একটি নল সংযুক্ত করিয়া তাহাতে ছিপি আঁটা আছে (9·1 চিত্র)। প্রথমে একটি পাম্পের সাহায্যে গোলক হইতে বায়ু বাহির করিয়া ছিপি বন্ধ করিয়া দেওয়া হইল। এইবার গোলকটি পাল্লায় চড়াইয়া তাহার ওজন দেখা হইল। এখন ছিপি খুলিয়া দিতেই গোলকটির মধ্যে বায়ু প্রবেশ করায় উহার ওজন বাড়িয়া যাইবে এবং পাল্লা ঝুঁকিয়া পড়িবে। পুনরায় গোলকটি ওজন করিলে পূর্বাপেক্ষা ওজন যত বেশী হইবে তাহাই ঐ গোলকের মধ্যকার বায়ুর ওজন। ভূপৃষ্ঠে এক ঘন মিটার আয়তনের বায়ুর ওজন প্রায় 1200 গ্র্যাম, অর্থাৎ এক সেরের বেশী। এক ঘন ফুটের ওজন প্রায় 1·3 আউন্স।



চিত্র 9·1

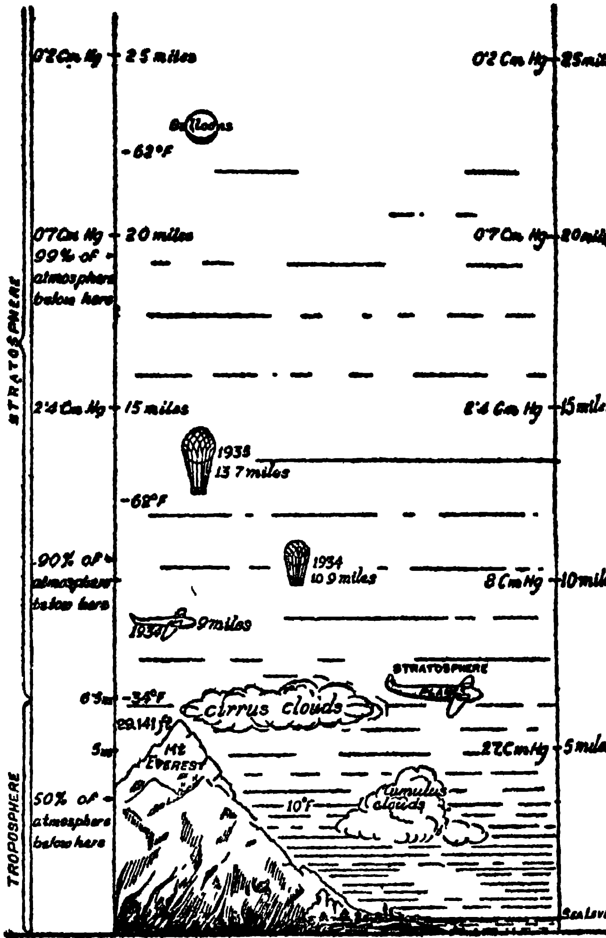
9-3. Atmosphere (বায়ুমণ্ডল)—পৃথিবীকে বেষ্টন করিয়া গ্যাসের একটি স্তর বিস্তৃত আছে ; ইহাকে বায়ুমণ্ডল বলে। এই বায়ুমণ্ডল ঊর্ধ্বে কতদুর বিস্তৃত তাহা সঠিক বলা সম্ভব নয়। নীচ হইতে যত উপরে উঠা যায়, বায়ুমণ্ডল তত লঘু (rarefied) হইতে থাকে। অতএব, কোন এক নির্দিষ্ট উচ্চতায় বায়ু-মণ্ডল শেষ হইয়া গিয়াছে, এইরূপ বলা যায় না। বায়ুর অণুগুলিকে পৃথিবী আকর্ষণ করিয়া রাখিয়াছে বলিয়া বায়ুমণ্ডল পৃথিবীকে ঘিরিয়া আছে এবং ইহার অণুগুলি ছুটিয়া মহাশূন্যে ছড়াইয়া পড়িতেছে না। পৃথিবীর আকর্ষণ ভূপৃষ্ঠের কাছে বেশী, উপরে কম। এই আকর্ষণের জন্য উপরের বায়ুকণাগুলি নীচের দিকে আসিতে চায় ; তাই ভূপৃষ্ঠের নিকটে বায়ুস্তর ঘন, অর্থাৎ সেখানে অধিক অণু একত্রিত আছে। ঊর্ধ্বে বায়ুস্তর লঘু অর্থাৎ সেখানে অল্প অণু একত্রিত আছে। এই জন্যই যত উপরে উঠা যায় বায়ুমণ্ডল ততই লঘুতর হইতে থাকে। বায়ুকণা-গুলি পৃথিবীর আকর্ষণে নীচে আসিয়া একত্রিত হয় না, তাহার কারণ উহারা সচল এবং তীব্র বেগে ইতস্ততঃ চলাফেরা করে। এই গতি পরে আলোচনা করা হইবে।



চিত্র 9·2

9-4. Atmospheric Pressure (বায়ুমণ্ডলের চাপ)—বায়ুমণ্ডলকে যদি বিভিন্ন অনুভূমিক স্তরে ভাগ করা যায় তবে সহজেই বুঝা যাইবে যে কোন এক স্তরের উপর তাহার উপরিস্থিত বায়ুর ওজনের জন্য একটি চাপ পড়িবে। 9·3 চিত্রে স্তম্ভকের নীচের তল বায়ুমণ্ডলের যে কোন স্থানে অবস্থিত একটি অনুভূমিক ক্ষেত্র। ঐ ক্ষেত্রকে ভূমি (Base) করিয়া তাহার উপরে বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্বসীমা পর্যন্ত প্রসারিত একটি স্তম্ভক কল্পনা করা যাউক। এই স্তম্ভকে যে পরিমাণ বায়ু আছে তাহা পৃথিবীর আকর্ষণে নীচের দিকে আসিতে চায়। অতএব এই কল্পিত ক্ষেত্রের উপর উপরস্থ বায়ুর ওজন-জনিত একটি চাপ পড়ে। তলের ক্ষেত্রফল a, তল হইতে বায়ুমণ্ডলের শেষ সীমা পর্যন্ত


চিত্র 9·3



চিত্র 94

এই চিত্রে বায়ুমণ্ডলের প্রথম 25 মাইল সম্বন্ধে কয়েকটি তথ্য সন্নিবেশ করা হইয়াছে। ভূপৃষ্ঠ হইতে উপরের দিকে উষ্ণতা প্রথমে কমিতে থাকে। এইরূপে কমিয়া উষ্ণতা −62°F হইবার পর কয়েক মাইল পর্যন্ত উহা স্থির থাকে। যে উচ্চতা পর্যন্ত উষ্ণতা কমিতে থাকে বায়ুমণ্ডলের সেই অংশকে Troposphere বলে। বিষুবীয় অঞ্চলে ইহা ভূপৃষ্ঠ হইতে প্রায় 10 মাইল ও মেরু অঞ্চলে প্রায় 5 মাইল পর্যন্ত বিস্তৃত। ঐ স্থান হইতে প্রায় 50 মাইল ঊর্ধ্ব অঞ্চল পর্যন্ত বায়ুমণ্ডলকে Stratosphere বলে। ইহার প্রথম 10-12 মাইল অংশে উষ্ণতা স্থির থাকে, পরে বাড়ে ও তাহার পর কমিয়া আবার বাড়িতে থাকে। 50 মাইল ঊর্ধ্ব হইতে উপরের অংশ Ionosphere। উল্কাপাত, মেরুপ্রভা প্রভৃতি এই ঊর্ধ্ব অঞ্চলের ঘটনা।

বায়ুমণ্ডলে যে বায়ু আছে তাহার শতকরা 50 ভাগ প্রথম সাড়ে তিন মাইলের মধ্যে ও শতকরা 90 ভাগ প্রায় 10 মাইলের মধ্যে।

উচ্চতা h, ও তলের উপরস্থ বায়ুর গড় ঘনত্ব ρ হইলে বায়ুর আয়তন ha, ভর $ha\rho$ এবং ওজন $ha\rho g$। বায়ুর ওজনের জন্য ক্ষেত্রের উপর $ha\rho g$ বল নিম্নাভিমুখে ক্রিয়া করে। অতএব ক্ষেত্রের উপর

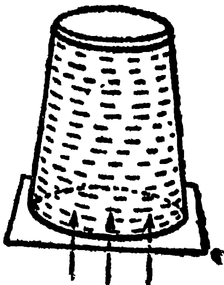
$$\text{চাপ} = \frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = h\rho g$$

দেখা যাইতেছে যে তরলের ন্যায় বায়ুও চাপ দেয়, এবং বায়ুমণ্ডলের যে কোন স্তরে **এই চাপ একক ভূমিবিশিষ্ট এবং বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্বসীমা পর্যন্ত প্রসারিত বায়ুস্তম্ভের ওজনের সমান**। এই চাপকে **বায়ুমণ্ডলের চাপ (Atmospheric pressure)** বলে।

আমরা পরে দেখাইব যে বায়ুমণ্ডলে এই চাপ তরলের চাপের ন্যায় সর্বমুখী। ভূপৃষ্ঠ হইতে যত উপরে উঠা যায়, বায়ুমণ্ডলের চাপ তত কমিতে থাকে।

বর্তমানে ব্যোম রশ্মি (Cosmic ray), ঊর্ধ্ব বায়ুমণ্ডলের বৈদ্যুতিক তরঙ্গের প্রবাহ, মেরুপ্রভা (Aurora) প্রভৃতি সম্পর্কিত কাজে বায়ুমণ্ডলের উপরাংশের গুণাবলী নির্ণয় বিজ্ঞানের এক বিশেষ গবেষণার বিষয় হইয়াছে এবং বিভিন্ন দেশে এই কাজ চলিতেছে।

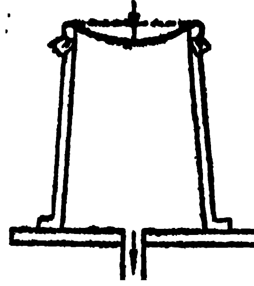
9-5. বায়ুর চাপ সর্বমুখী—তরল পদার্থের ন্যায় বায়ুর চাপও যে সর্বমুখী, তাহা নানাভাবে দেখান যায়।


চিত্র 9·5

(1) **ঊর্ধ্বচাপ**—একটি জলপূর্ণ গ্লাসের (9 5 চিত্র) মুখ পাতলা কার্ডদ্বারা আটকাইয়া উহাকে সাবধানে দ্রুত উল্‌টাইযা ফেলিযা হাত সরাইযা লইলেও দেখা যাইবে যে জল পড়িতেছে না। গ্লাসের মধ্যেব জল নিম্নচাপ দ্বারা কার্ডখানি ফেলিযা দিবার চেষ্টা করে, কিন্তু বাহিরের বায়ুর ঊর্ধ্বচাপ উহাকে আটকাইযা রাখে। জলের নিম্নচাপ অপেক্ষা বায়ুর ঊর্ধ্বচাপ বেশী হওয়ায় জল পড়িতে পাবে না।

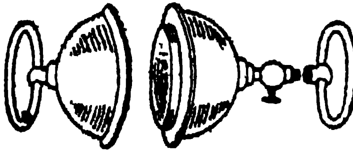
পরীক্ষাটি সফল করিবার জন্য গ্লাসেব মুখ মসৃণ, সমতল ও একটু চওড়া হওয়া প্রয়োজন। গ্লাসের ভিতরে একটুও বায়ু থাকিলে চলিবে না।

(2) নিম্নচাপ—একটি ফাঁপা দুইমুখ খোলা কাচের স্তম্ভকের (9·6 চিত্র) একমুখ পাতলা রবারের পাত দিয়া ভাল করিয়া বাঁধা। স্তম্ভকটি বায়ু-শোষক পাম্পের টেবিলের উপর বসাইয়া পাম্পের সাহায্যে উহার মধ্য হইতে বাতাস বাহির করিতে থাকিলে দেখা যাইবে, উপরের রবারের পাত ক্রমশ ভিতরের দিকে ঢুকিয়া যাইতেছে। পাম্প স্তম্ভকের ভিতরের বায়ু বাহির করিয়া লওয়ায় বাহিরের বায়ুর চাপে এইরূপ হয়।

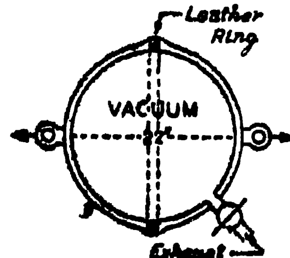


চিত্র 9·6

(3) গেরিকের ম্যাগডেবার্গ গোলক পরীক্ষা (Guericke's experiments with Magdeburg hemispheres)—প্রুশিয়ার বৈজ্ঞানিক গেরিক (Otto von Guericke) বায়ুর চাপ দেখাইবার জন্য এই বিখ্যাত পরীক্ষাটি করেন। এই পরীক্ষায় দুইটি ধাতু-নির্মিত অর্ধগোলক লওয়া হয়। উহারা পরস্পরের সহিত এরূপভাবে খাপ খায় যে জোড়ার মুখ দিয়া বায়ু ভিতরে ঢুকিতে পারে না। একটি অর্ধ-গোলকের একপাশ দিয়া উহাদের মধ্য হইতে বায়ু বাহির করিয়া লইবার ব্যবস্থা আছে (9·7 চিত্র)। অর্ধগোলক দুইটি জুড়িয়া গোলকের ভিতর হইতে বায়ু বাহির করিয়া লইলে বাহিরের বায়ু পার্শ্বচাপদ্বারা অর্ধগোলক দুইটিকে পরস্পরের সহিত চাপিয়া রাখে। তখন গোলকে লাগান হাতল ধরিয়া টানিয়া উহাদের সহজে পৃথক করা যায় না। ভিতরে বায়ু প্রবেশ করিতে দিলে উহাদের পৃথক্ করিতে আর বিশেষ কোন বলের প্রয়োজন হয় না।



চিত্র 9·7



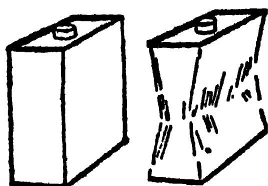
চিত্র 9·8

গেরিক প্রুশিয়ার ম্যাগডেবার্গ সহরের মেয়র ছিলেন। তিনিই প্রথম বায়ু নিষ্কাশন যন্ত্র বা Air pump আবিষ্কার করেন এবং পাম্পের সাহায্যেই তাঁহার

পরীক্ষা প্রুশিয়ার সম্রাটের সম্মুখে প্রদর্শন করেন। তাঁহার 22 ইঞ্চি ব্যাসের অর্ধগোলক দুইটিকে (9·8 চিত্র)বায়ুশূন্য করা হইলে উভয় পার্শ্বে আটটি করিয়া যোলটি ঘোড়া উহাদের টানিয়া খুলিতে সমর্থ হয় না।

উপরের পরীক্ষাগুলি হইতে দেখা যাইতেছে যে তরল পদার্থের মত বায়ুও উহাতে নিমজ্জিত যে কোন বস্তুর উপর চাপ দেয়। এই চাপ, তরল পদার্থের চাপের ন্যায়, বায়ুর সংস্পর্শে অবস্থিত যে কোন তরলের উপর লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

(4) **সর্বমুখী চাপ**—দেখা যাইতেছে যে বায়ুর চাপ সর্বমুখী। ইহার সমর্থনে একটি সহজ পরীক্ষাও দেখান যাইতে পারে। একটি ছোট মুখওয়ালা পাতলা টিনের পাত্র লইতে হইবে (9·9 চিত্র)। উহার মুখ রবারের ছিপি দিয়া এমনভাবে বন্ধ করা যায় যে ভিতরে বায়ু প্রবেশ করিতে পারে না। পাত্রে একটু জল ঢালিয়া উহা দ্রুত ফুটাইতে হইবে। ইহার ফলে জলীয় বাষ্প ভিতরের বায়ু বাহির করিয়া দিবে।


চিত্র 9·9

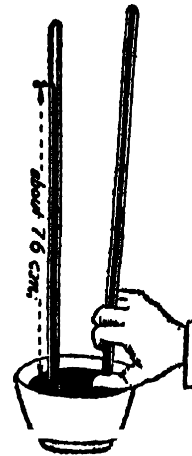
এইবার তাড়াতাড়ি মুখ বন্ধ করিয়া পাত্রটি ঠাণ্ডা করিতে দিলে ভিতরের বাষ্প জমিয়া জলে পরিণত হইবে ও ভিতরের চাপ কমিবে। তখন বাহিরের সর্বমুখী চাপে পাত্রটি চুপসাইয়া যাইবে।

9-6. বায়ুর চাপের কয়েকটি ক্রিয়া—বায়ুর চাপ আমরা নানাভাবে কাজে লাগাই। আমাদের শ্বাসগ্রহণ বায়ুর চাপের জন্যই সম্ভব হয়। বুকের মাংসপেশী পঞ্জরের অস্থিগুলিকে উপরে টানিয়া তুলে ও সম্মুখের দিকে একটু ঠেলিয়া দেয়। ফলে বুকের গহ্বরের আয়তন বাড়ে ও ভিতরের চাপ কমিয়া যায়। তখন বায়ুর চাপ বাহির হইতে ভিতরের দিকে বায়ু ঠেলিয়া দেয়। খুব উঁচুতে উঠিলে শ্বাস লইতে কষ্ট হয়; কারণ সেখানে বায়ুর চাপ কম। শ্বাসক্রিয়ার সাহায্যে প্রয়োজনীয় অক্সিজেন সেখানে পাওয়া যায় না বলিয়া যাত্রীদের অক্সিজেন বহন করিতে হয়।

জল পান করা, নল দিয়া শরবত খাওয়া শ্বাসগ্রহণের অনুরূপ ক্রিয়া। মাংসপেশীর সাহায্যে মুখগহ্বরের আয়তন বাড়াইলে ভিতরের বায়ুর চাপ কমে, ও বাহিরের বায়ুর চাপে জল বা শরবত ভিতরে চলিয়া আসে। এক জাতীয়

ফাউন্টেন পেনে লিভার চাপিয়া ভিতরের কালির পাত্রের আয়তন কমান হয়। পরে লিভার ছাড়িয়া দিলে ভিতরের আয়তন বাড়ে ও চাপ কমে। তখন বাহিরের বায়ুর চাপে কালি ভিতরে প্রবেশ করে। বায়ুর চাপের ক্রিয়ার এইরূপ নানাবিধ উদাহরণ দেওয়া যাইতে পারে।

9-7. প্রকৃতি শূন্য পরিহার করে (Nature abhors vacuum)—মনীষী অ্যারিস্টট্‌ল্ সিদ্ধান্ত করেন যে প্রকৃতি শূন্য পরিহার করে এবং কোথাও আংশিক শূন্য হইলেই যাহা পায় তাহা দিয়া সেই স্থান পূর্ণ করে। তখনকার দিনের বৈজ্ঞানিকদের মধ্যে এই বিশ্বাস চলিয়া আসিতেছিল। একটি গভীর কূপ হইতে পাম্পের সাহায্যে জল কেন তোলা যাইতেছে না তাহার কারণ অনুসন্ধান করিতে টুস্কানির ডিউক (Duke of Tuscany) তাঁহার বন্ধু গ্যালিলিওকে ডাকেন। গ্যালিলিও দেখেন যে জল প্রায় 28 ফুটের উপরে আর উঠিতেছে না। ইহাতে তিনি সিদ্ধান্ত করেন যে প্রকৃতির শূন্য পরিহার করিতে পারার একটা সীমা আছে। গ্যালিলিওর মৃত্যুর পর তাঁহার এক ছাত্র টরিসেলী (Torricelli) এ বিষয়ে আরও পরীক্ষা করেন।



চিত্র 9·10

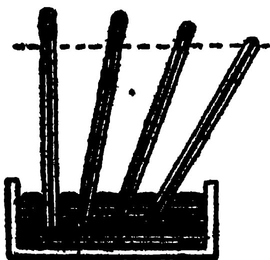
টরিসেলীর পরীক্ষা—প্রায় এক মিটার লম্বা (9·10 চিত্র) একটি কাচের নল লইয়া উহাকে সম্পূর্ণরূপে পারদদ্বারা পূর্ণ করা হইল। নলের মুখ আঙ্গুল দিয়া চাপিয়া নলটিকে একটি পারদপূর্ণ পাত্রের উপর উপুড় করা হইল। আঙ্গুল ছাড়িয়া দিলে প্রথমে খানিকটা পারদ নল হইতে বাহির হইয়া আসিবে এবং নলের মধ্যে প্রায় 30 ইঞ্চি পরিমাণ পারদ থাকিয়া যাইবে। টরিসেলী সাব্যস্ত করেন যে বায়ুমণ্ডলের চাপই পারদকে নলের মধ্যে ঐ পরিমাণ তুলিয়া রাখিয়াছে।* তাঁহার সিদ্ধান্ত যে ঠিক তাহা আমরা নিম্নোক্তভাবে

*টরিসেলীর এই সিদ্ধান্ত প্যাস্কালের একটি পরীক্ষায় সমর্থিত হয়। প্যাস্কাল ঐরূপ পারদপূর্ণ একটি নলকে দক্ষিণ ফ্রান্সের একটি পাহাড়ের উপরে প্রায় 1000 মিটার উঁচুতে তোলেন। সেখানে পারদের উচ্চতা প্রায় সাত সেন্টিমিটার কম হয়। উপরে বায়ুর চাপ কম বলিয়া নলের মধ্যে পারদের উচ্চতাও কম।

দেখিতে পারি। পারদপাত্রে পারদপৃষ্ঠের যে কোন বিন্দুতে চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ। কাজে কাজেই নলের মধ্যে ঐ বিন্দুর সহিত সমতলে অবস্থিত কোন বিন্দুতে চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। কিন্তু এই দ্বিতীয় বিন্দুতে যে চাপ তাহা নলের মধ্যস্থ পারদের জন্য। অতএব এই বিন্দুতে নলের মধ্যস্থ পারদের জন্য যে চাপ তাহা বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হইবে। নলের মধ্যে পারদের উচ্চতা যদি h ও পারদের ঘনত্ব ρ হয়, তাহা হইলে বায়ুমণ্ডলের চাপ $P=h\rho g$।

বুঝিতে অসুবিধা হয় না যে বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপের জন্যই নলের মধ্যে পারদ স্থির আছে। বায়ুমণ্ডলের চাপ না থাকিলে পারদ অভিকর্ষের নিয়ম অনুসারে নীচে নামিয়া আসিত। বায়ুমণ্ডলের চাপই উহাকে ঠেলিয়া উপরে তুলিয়া রাখিয়াছে। পারদপাত্র সমেত নলটি যদি কাচের বড় একটি পাত্রে ঢাকিয়া উহার মধ্য হইতে বায়ু-নিষ্কাশন যন্ত্রের সাহায্যে বায়ু বাহির করিয়া লওয়া হইতে থাকে, তবে দেখা যাইবে যে নলের মধ্যস্থিত পারদের উচ্চতাও ধীরে ধীরে কমিয়া যাইতেছে। বায়ু সম্পূর্ণরূপে বাহির করিয়া লইলে পারদ সম্পূর্ণ নামিয়া যাইবে। বায়ু প্রবেশ করিতে দিলে পারদ আবার নলের মধ্যে উঠিবে। বায়ুর চাপের তারতম্যের জন্যই পারদ উঠানামা করে।

নলের মধ্যস্থিত পারদের উপরের শূন্য অংশকে Torricellian vacuum বা টরিসেলীয় শূন্য বলে। ঐ স্থানে কোনও বায়ু নাই, সামান্য পরিমাণ পারদের বাষ্প আছে মাত্র। নলটি খুব আস্তে আস্তে কাত করিতে থাকিলে দেখা যাইবে যে নলটি পারদে সম্পূর্ণ ভরিয়া না যাওয়া পর্যন্ত নলের মধ্যের পারদ সর্বদাই পাত্রের পারদ হইতে একটা নির্দিষ্ট উচ্চতায় থাকে (9·11 চিত্র)।



চিত্র 9·11।

9-8. বায়ুর চাপের মান—টরিসেলীর পরীক্ষা হইতে আমরা স্পষ্টই দেখিতে পাই যে নলের মধ্যকার পারদের উচ্চতা বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর নির্ভর করে। অতএব নলের মধ্যে পারদের উচ্চতা মাপিয়া আমরা বায়ুমণ্ডলের চাপ পাইতে পারি। পারদের উচ্চতা h হইলে এই চাপ $P=h\rho g$ হইবে। সাধারণত দেখা যায় যে পারদের উচ্চতা প্রায় 76 cm। পারদের ঘনত্ব 13·6 gm/c.c; অতএব

$$P = 76 \times 13{\cdot}6 \times 980 \text{ dynes/cm}^2$$
$$= 1{\cdot}013 \times 10^6 \text{ dynes/cm}^2$$

দেখা যাইতেছে সি-জি-এস্ এককে বায়ুমণ্ডলের চাপ প্রতি বর্গ সেন্টিমিটে প্রায় 10^6 dynes।

এফ্-পি-এস্ এককে ইহা প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে 14·75 lb-wt.।

"বায়ুমণ্ডলের চাপ 76 cm পারার সমান (Atmospheric pressure is equal to 76 cm of mercury)"—এই উক্তিদ্বারা কি বুঝায় ? ইহা দ্বারা বুঝায় যে 76 cm উচ্চ পারদস্তম্ভ প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে তাহার স্বকীয় ওজনের জন্য যে hydrostatic চাপ দেয়, বায়ুমণ্ডলের চাপ তাহারই সমান। অথবা 1 sq. cm. ভূমিবিশিষ্ট 76 cm উচ্চ পারদস্তম্ভের যাহা ওজন, একই ভূমিবিশিষ্ট এবং বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্বসীমা পর্যন্ত প্রসারিত বায়ুস্তম্ভের ওজন তাহাই।

● **Normal** বা **standard atmospheric pressure**—শূন্য ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় 45° অক্ষাংশে 76 সেন্টিমিটার উচ্চ পারদস্তম্ভের যে চাপ তাহাকে **Normal** বা **standard atmospheric pressure** বলে। এই চাপ কোন নির্দিষ্ট স্থানে নির্দিষ্ট সময়ে বায়ুমণ্ডলের চাপ নহে। যে কোন স্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ ঐ স্থানের অক্ষাংশ ও সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে উহার উচ্চতার উপর নির্ভর করে। তাহা ছাড়া, চাপ আবহাওয়ার অবস্থার উপরেও নির্ভর করে।

উদাহরণ—(1) বায়ুর ঘনত্ব 1·2 gm per litre হইলে কতখানি উচ্চ বায়ুস্তম্ভের চাপ বায়ুমণ্ডলের normal চাপের সমান হইবে ?

বায়ুমণ্ডলের normal চাপ = 76 cm পারার চাপ
$= 76 \times 13{\cdot}6 \times 980 \text{ dynes/cm}^2$।

নির্ণেয় বায়ুস্তম্ভের উচ্চতা h cm হইলে ইহার চাপ

$$= h \times \frac{1{\cdot}2}{1000} \times 980 \text{ dynes/cm}^2$$

$$\therefore h = \frac{76 \times 13{\cdot}6 \times 1000}{1{\cdot}2} = 8{\cdot}612 \times 10^5 \text{ cm}$$

= 8·612 kilometre (প্রায় 5 মাইল)।

[আসলে বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা ইহা অপেক্ষা অনেক বেশী, কারণ যত উপরে উঠা যায় বায়ুর ঘনত্ব তত কমে। 300 মাইল উপরেও বায়ুমণ্ডলের অস্তিত্বের প্রমাণ পাওয়া গিয়াছে।]

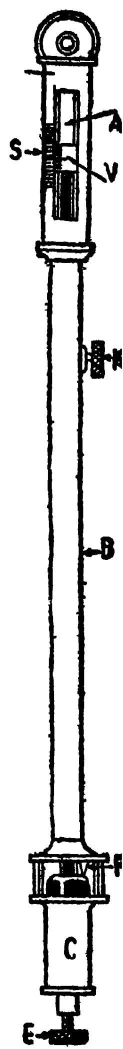
(2) বায়ুমণ্ডলের চাপ 76 cm পারার সমান হইলে কতখানি উচ্চ জলের স্তম্ভে ঐ পরিমাণ চাপ পাওয়া যাইবে ?

নির্ণেয় উচ্চতা h cm হইলে জলস্তম্ভের চাপ $= h \times 1 \times g$;
76 cm পারার চাপ $= 76 \times 13{\cdot}6 \times g$।

$\therefore \quad h = 76 \times 13{\cdot}6 \text{ cm} = 1034 \text{ cm}$ (বা 39·9 ft.)।

9-9. Barometer (চাপমান যন্ত্র)—বায়ুমণ্ডলের চাপ চাপমান যন্ত্রের সাহায্যে মাপা হইয়া থাকে। চাপমান যন্ত্র নানা রকমের হইতে পারে। উহাদের মধ্যে প্রধান কয়েকটির বর্ণনা দেওয়া হইল।

(1) **ফর্টিনের চাপমান যন্ত্র (Fortin's Barometer)**—টরিসেলীর নলে পারদের উচ্চতার সাহায্যে চাপ মাপা যায় ইহা পূর্বেই বলা হইয়াছে। পারা একটি পাত্রে থাকে বলিয়া এইরূপ চাপমান যন্ত্রকে Cistern Barometer বলে। এই হিসাবে ফর্টিনের চাপমান যন্ত্রও এক প্রকার Cistern Barometer। ইহাতে কেবল পারদের উচ্চতা সহজে এবং সঠিকভাবে মাপিবার ব্যবস্থা করা হইয়াছে।

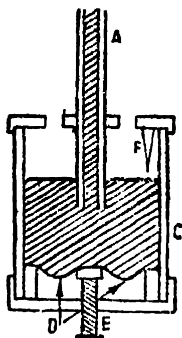


চিত্র 9·12

9·12 চিত্রে সম্পূর্ণ যন্ত্রটি এবং 9·13 চিত্রে কেবলমাত্র যন্ত্রের নিম্নাংশ দেখান হইয়াছে। A কাচের নলটি প্রায় এক মিটার লম্বা এবং পারদপূর্ণ। ধাতুনির্মিত একটি নল B কাচের নলটিকে ঘিরিয়া রাখে। ভিতরের কাচের নলে পারদের উচ্চতা কত, তাহা দেখিবার জন্য ধাতব নলের উপরদিকে খানিকটা অংশ কাটা থাকে। C পারদ পাত্র। পাত্রের নীচের অংশ D (9·13 চিত্র) চামড়ার তৈয়ারী এবং উহার তলদেশে একটি স্ক্রু E লাগান আছে। স্ক্রু ঘুরাইয়া C পাত্রে পারদের পৃষ্ঠ (Level) উঠান বা নামান যায়। পাত্রের পারদের ঠিক উপরে সরু সূচের আকারের একটি সূচক (Pointer) F লাগান থাকে। যে স্কেলের সাহায্যে নলের মধ্যকার পারদের উচ্চতা মাপা হয় তাহার আরম্ভ F সূচকের সূক্ষ্ম প্রান্ত হইতে।

উপরে ধাতব নলের গায়ে স্কেল S ও ভার্নিয়ার V আঁটা আছে। ভার্নিয়ারটি স্ক্রু Kর সাহায্যে উঠান নামান যায়। চাপ নির্ণয় করিতে হইলে প্রথমে E স্ক্রু-টি ঘুরাইয়া পারদের লেভেল এরূপ অবস্থায় আনা হয় যে উহা সূচককে ঠিক স্পর্শ করে। এইবার উপরের স্কেল ও ভার্নিয়ারের সাহায্যে

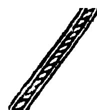
পারদের উচ্চতা নির্ণয় করা হয়। ইহা হইতেই বায়ুমণ্ডলের চাপ জানা যায়।

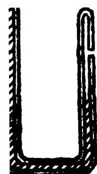


চিত্র 9·13

(2) সাইফন চাপমান যন্ত্র (Siphon Barometer)—এই যন্ত্রটি ফর্টিন যন্ত্র অপেক্ষা অনেক সহজেই তৈয়ারী করা যায়। ইহা লইয়া চলাফেরা করাও অনেক সহজ। ইহা একটি U-নলদ্বারা নির্মিত (9·14 চিত্র)। U-নলের এক বাহু খুব লম্বা (প্রায় 90 cm) এবং উপরের মুখ বন্ধ। অন্য বাহু ছোট এবং তাহার পার্শ্বে একটি ছিদ্র আছে। এই ছিদ্রের মধ্য দিয়া বায়ুমণ্ডলের চাপ ভিতরের পারদে চালিত হয়। যন্ত্রটি একটি স্কেলসংযুক্ত কাঠের সহিত খাড়াভাবে লাগান থাকে এবং দুই বাহুতে পারদের লেভেলের পার্থক্য দেখিয়া চাপ নির্ণয় করা হয়।

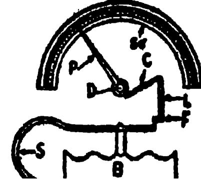
(3) অ্যানারয়েড চাপমান যন্ত্র (Aneroid Barometer)—এই যন্ত্রে কোন প্রকার তরল পদার্থ ব্যবহার করা হয় না। একটি অল্প উঁচু, ফাঁপা, ধাতব স্তম্ভক Bকে (9·15) চিত্র অংশত বায়ুশূন্য করা হয়। উহার উপরটা পাতলা ধাতুপাত দিয়া গঠিত। বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে পাতটি উঠানামা করে। এই উঠানামা সহজ ও মাত্রায় বেশী করিবার জন্য পাতখানার আকার দেওয়া হয় বৃত্তাকারে ঢেউ-খেলান। বায়ুর চাপে পাতটি যাহাতে চুপসাইয়া না যায় সেজন্য উহা একটি শক্ত স্প্রিং S-এর সঙ্গে আবদ্ধ থাকে। Sএর প্রান্ত একটি L আকারের লিভারের সঙ্গে ঠেকান। Lএর আলম্ব F বিন্দুতে। L-এর অন্য প্রান্ত একগাছি সরু শিকল C'র সহিত আটকান। এই শিকল D দণ্ডকে ঘুরায়। দণ্ডের সহিত আবদ্ধ সূচক P স্কেলের উপর ঘোরাফেরা করে। বায়ুর চাপ কমিলে পাত উপরে উঠে, L লিভার ঘুরিয়া যায় এবং সূচক P ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে ঘোরে।





চিত্র 9·14

চাপ বাড়িলে Sএর প্রান্ত নামিয়া আসে, তখন Dএর সহিত আবদ্ধ আর একটি স্প্রিংএর ক্রিয়ায় সূচক বিপরীত দিকে ঘোরে। ফর্টিন চাপমান যন্ত্রের সঙ্গে মিলাইয়া Sc স্কেলে দাগ কাটা আছে। কাজে কাজেই Pর অবস্থান দেখিয়া বায়ুমণ্ডলের চাপ পাওয়া যায়। সর্বত্র চলাফেরার জন্য অ্যানারয়েড চাপমান যন্ত্রই সর্বোৎকৃষ্ট। ইচ্ছা করিলে ইহাকে ঘড়ির মত ছোট করিয়াও তৈয়ারী করা যায়। যন্ত্রটি খুব হালকা এবং চাপ নির্ণয় করাও খুব সহজ।



চিত্র 9·15

তাহা ছাড়া এই যন্ত্রকে উচ্চতা-মাপক যন্ত্র (Altimeter) হিসাবেও ব্যবহার করা যায়। উচ্চতার সহিত বায়ুর চাপ কমে। ভূপৃষ্ঠের কাছাকাছি প্রতি 11 মিটারে এক মিলিমিটার বা প্রতি 90 ফুটে 0·1 ইঞ্চি করিয়া চাপ কমে। কাজে কাজেই যন্ত্রের স্কেলের দাগগুলি উচ্চতা হিসাবে ভাগ করিয়া দিলেই এই চাপমান যন্ত্র উচ্চতা-মাপক যন্ত্রে পরিণত হয়। সাধারণত চাপ নির্দেশের জন্য স্কেল সেণ্টিমিটার ও ইঞ্চিতে ভাগ করা থাকে; তাহা ছাড়া উচ্চতার স্কেলও থাকিতে পারে।

উদাহরণ—(১) কোন পাহাড়ে উঠিতে বায়ুর চাপ 4·5 in. পারার সমান কমে। ঐ স্থানে বায়ুর গড় ঘনত্ব ·075 lb/ft^3 হইলে পাহাড়টি কত উঁচু?

বায়ুর ঘনত্ব ·075 lb/ft^3 হইলে কত উচ্চ বায়ুস্তম্ভের চাপ 4·5 in. পারার চাপের সমান হইবে আমাদের তাহাই বাহির করিতে হইবে। নির্ণেয় উচ্চতা h ft. হইলে উহার চাপ

$$= h \times \cdot075 \times g;$$

$$\text{পারার চাপ} = \frac{4\cdot5}{12} \times 13\cdot6 \times 62\cdot5 \times g$$

[∵ পারার আপেক্ষিক গুরুত্ব 13·6 এবং জলের ঘনত্ব 62·5 lb/ft^3]

$$\therefore\ h = \frac{4\cdot5 \times 13\cdot6 \times 62\cdot5}{12 \times \cdot075} \text{ ft.} = 4249 \text{ ft.}$$

(2) নীচের সারণীতে ভূপৃষ্ঠ হইতে উচ্চতা ও সেই উচ্চতায় বায়ুর চাপ দেওয়া হইল। এই সারণী হইতে উচ্চতা-চাপ-নির্দেশক একটি লেখ (graph) প্রস্তুত কর।

ভূপৃষ্ঠ হইতে উচ্চতা (মাইলে)	চাপ (সেন্টিমিটার পারায়)
0	76
3·5	38
5	27
10	7·6
15	2·4
20	0·7

যে কোন উচ্চতায় চাপ সেই স্থানের উপরের বায়ুমণ্ডলের ভরের সমানুপাতিক হইলে, বায়ুমণ্ডলে যে পরিমাণ বায়ু আছে তাহার $\frac{3}{4}$ অংশ ভূপৃষ্ঠ হইতে কতটা উচ্চতার মধ্যে রহিয়াছে তাহা লেখ হইতে বাহির কর।

[উত্তর : প্রায় 6 মাইল]

9.10. চাপমান যন্ত্রের সাহায্যে আবহাওয়া নির্ণয়— বিভিন্ন স্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ অক্ষাংশ ও উচ্চতার উপর নির্ভর করে। একই স্থানের বায়ুমণ্ডলের চাপ নানাকারণে পরিবর্তিত হয়। বায়ুতে জলীয় বাষ্পের আধিক্য হইলে চাপ কমে, কারণ জলীয় বাষ্প বায়ু অপেক্ষা হালকা। উষ্ণতার সঙ্গেও চাপ পরিবর্তিত হয়। বায়ুমণ্ডলের চাপের হ্রাস-বৃদ্ধির উপর আবহাওয়া নির্ভর করে। তাই চাপের হ্রাস-বৃদ্ধি দেখিয়া পূর্ব হইতেই আবহাওয়া কিছু পরিমাণে অনুমান করা যায়। চাপ হঠাৎ নামিতে থাকিলে বুঝিতে হইবে অন্যান্য স্থান হইতে বায়ু সেই দিকে ধাবিত হইবে অর্থাৎ ঝড়ের সম্ভাবনা আছে। আবার চাপ যদি বাড়িতে থাকে তবে বুঝিতে হইবে যে আবহাওয়া শুষ্ক ও সুন্দর হইবে। চাপ বেশী ও স্থির থাকিলে আবহাওয়া ভাল চলিতে থাকিবে।

Weather map (আবহাওয়া মানচিত্র): সরকারী আবহাওয়া বিভাগের অনেকগুলি পর্যবেক্ষণ ঘাঁটি থাকে। এই সকল স্থানে নির্দিষ্ট সময়ে বায়ুর চাপ, উষ্ণতা, বায়ুপ্রবাহের দিক্ ও মান, বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ প্রভৃতি মাপা হয়। মাপের ফলগুলি একটি কেন্দ্রীয় ঘাঁটিতে টেলিগ্রাফে বা বেতারে পাঠান হয়। সেখানে মানচিত্রে বিভিন্ন ঘাঁটির এইসব ফলগুলি যথাযথ স্থানে আঁকিয়া দেখান হয়। যে সকল স্থানে বায়ুর চাপ সমান সেগুলিকে রেখা দ্বারা যোগ করা হয়। এইরূপ রেখাকে Isobar বলে।

Isobar গুলির ধরণ, বায়ুর গতি, উষ্ণতা ও বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ

ইত্যাদি দেখিয়া আবহাওয়ার পূর্বাভাস দেওয়া যায়। Isobar সমন্বিত মানচিত্রগুলিকে Weather map বলে।

9-11. Boyle's law (বয়েলের সূত্র) ঃ চাপের সঙ্গে গ্যাসের আয়তন সহজেই কমে, বাড়ে। গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপের সঙ্গে আয়তনের সম্বন্ধ রবার্ট বয়েল (Robert Boyle) কর্তৃক আবিষ্কৃত হয় এবং উহা **বয়েল সূত্র** নামে পরিচিত। ইহাকে আমরা নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করিতে পারি—

উষ্ণতা (Temperature) স্থির থাকিলে নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের আয়তন উহার চাপের ব্যস্ত আনুপাতিক (inversely proportional)।

নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস লইয়া উহার উষ্ণতা অপরিবর্তিত রাখিয়া চাপ বাড়াইলে বা কমাইলে দেখা যাইবে P যদি গ্যাসের চাপ ও V উহার আয়তন হয়, তবে

$$V \propto \frac{1}{P} \qquad (9.1)$$

অথবা $$PV = K = \text{ধ্রুব}$$

P_1 চাপে আয়তন V_1, ও P_2 চাপে আয়তন V_2 হইলে

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = K \qquad (9.2)$$

চাপ ও আয়তনের এই গুণফল (উপরোক্ত সমীকরণের K) যে পরিমাণ গ্যাস লওয়া হইয়াছে তাহার **ভরের** উপর নির্ভর করে। ভর দ্বিগুণ হইলে গুণফলও দ্বিগুণ হয়। উষ্ণতা পরিবর্তিত হইলে Kর মান বদলায়।

$PV =$ ধ্রুব, এই সমীকরণই বয়েল সূত্রের আঙ্কিক রূপ। আয়তন V ও ঘনত্ব ρ পরস্পরের ব্যস্ত আনুপাতিক, অতএব P ও ρ পরস্পরের আনুপাতিক হইবে, অর্থাৎ

$$P/\rho = \text{ধ্রুব} \qquad (9.3)$$

P_1 চাপে ঘনত্ব ρ_1 ও P_2 চাপে ঘনত্ব ρ_2 হইলে আমরা লিখিতে পারি

$$\frac{P_1}{\rho_1} = \frac{P_2}{\rho_2} \qquad (9.4)$$

উদাহরণ—(1) এক বায়ুমণ্ডলের চাপে কোন গ্যাসের আয়তন 5 litres। চাপ কমাইয়া 20 cm পারার সমান করিলে আয়তন কত হইবে ?

প্রথমে চাপ = 76 cm পারা, আয়তন = 5 litres ;

পরে চাপ = 20 cm পারা, আয়তন = V litres।

বয়েল সূত্রের 9·2 সমীকরণ অনুসারে

$$20 \times V = 76 \times 5 \;;$$

$$\therefore \quad V = 19 \text{ litres}$$

(2) পরীক্ষাগারে 175 c. c. অক্সিজেন তৈয়ারী করা হইল। উহার চাপ 70 cm পারার সমান। আয়তন কমাইয়া 100 c. c. করা হইলে চাপ কত ?

প্রথমে আয়তন = 175 c. c. ও চাপ = 70 cm পারা ;

পরে আয়তন = 100 c. c. ও চাপ = x cm পারা।

বয়েল সূত্রের 9·2 সমীকরণ অনুসারে

$$175 \times 70 = 100 \times x$$

$$\therefore \quad x = 122 \cdot 5 \text{ cm পারা।}$$

(3) ভূপৃষ্ঠে বায়ুর চাপ 76 cm পারা ও ঘনত্ব প্রতি লিটারে 1·2 gm। 6000 ft. উচ্চে চাপ 60 cm পারা হইলে সেখানে বায়ুর ঘনত্ব কত ?

প্রথমে চাপ 76 cm পারা ও ঘনত্ব 1·2 gm/litre ;

পরে চাপ 60 cm পারা ও ঘনত্ব ρ gm/litre হইলে 9·4 সমীকরণ অনুসারে

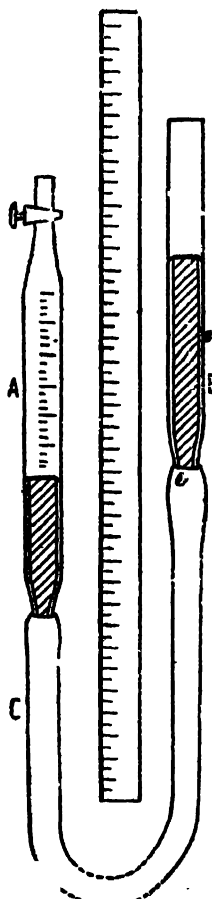
$$\frac{76}{1 \cdot 2} = \frac{60}{\rho} \;;$$

$$\therefore \quad \rho = \frac{60 \times 1 \cdot 2}{76} = 947 \text{ gm/litre}$$

বয়েল সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ—বয়েল সূত্র নিম্নলিখিত ভাবে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়। একটি লম্বা কাচের নল A (9·16 চিত্র) মোটা রবারের নল Cএর সাহায্যে একটি কাচের পাত্র Bর সহিত সংযুক্ত। A নলটির উপরের মুখ বন্ধ এবং ইহারই মধ্যে খানিকটা বাতাস বা অন্য কোন গ্যাস ভরা আছে। Bর উপরাংশ খোলা এবং সমস্ত রবার টিউবটি এবং A ও Bর কিছু অংশ পারদ দ্বারা পূর্ণ। A এবং B একটি 'খাড়া' ফ্রেমে এরূপভাবে আবদ্ধ যে উহাদের যে কোনটিকে ইচ্ছামত উপরে উঠান বা নীচে নামান যায়। A নলের গায়ে উহার আয়তন ঘন সেন্টিমিটারে নির্দেশ করা আছে। A ও B এই উভয় নলে পারদের লেভেলের পার্থক্য মাপিবার জন্য উহাদের মধ্যে একটি স্কেল লাগান আছে।

প্রথমে Bকে নামাইয়া এরূপ অবস্থায় আনা হইল যে উভয় নলেই পারদের লেভেল সমান থাকে। এই সময় Aতে অবস্থিত বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ P_0র সমান। এখন নলের বায়ুর উপর P_0 অপেক্ষা বেশী চাপ প্রয়োগ করিবার

জন্য Bকে একটু উপরে উঠান হইল। B নলে পারদ এখন A নল অপেক্ষা উচ্চে থাকিবে। উভয়ের লেভেলের পার্থক্য যদি x হয় এবং বায়ুমণ্ডলের চাপ যদি h_0 সে-মি পারদের চাপের সমান হয় তবে Aতে বায়ুর চাপ হইবে (h_0+x) সে-মি পারদের চাপের সমান। এইরূপে Bকে অল্প অল্প উঠাইয়া বিভিন্ন চাপ ও সেই চাপে Aতে অবস্থিত বায়ুর আয়তন মাপা হইল। দেখা যাইবে চাপ যাহাই হউক না কেন, আয়তন ও চাপের গুণফল সমান। ইহা দ্বারা বয়েল সূত্র প্রমাণিত হয়।

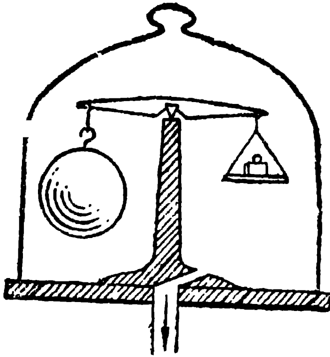


চিত্র 9·16

বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কম চাপে এই পরীক্ষা করিতে হইলে পূর্বের ন্যায় উভয় নলে পারদের লেভেল সমান করিয়া পরে Bকে খানিকটা নীচে নামাইতে হইবে। এ ক্ষেত্রে A নলে পারদের অবস্থান B অপেক্ষা উচ্চে হইবে এবং Aতে বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কম হইবে। দুই নলে পারদের লেভেলের পার্থক্য যদি x হয় তবে এ ক্ষেত্রে A নলে বায়ুর চাপ হইবে (h_0-x) সে-মি পারদের চাপের সমান। এইরূপে Bকে আস্তে আস্তে নামাইয়া পরীক্ষণীয় বায়ুর উপর h_0 অপেক্ষা কম পরিমাণের বিভিন্ন চাপ প্রয়োগ করা যাইবে এবং প্রতিবারে Aর স্কেল হইতে আয়তন পাওয়া যাইবে। দেখা যাইবে এক্ষেত্রেও চাপ এবং আয়তনের গুণফল স্থির এবং পূর্বকার গুণফলের সমান। এইরূপে বয়েল সূত্র প্রমাণ করা যায়।

উভয় পরীক্ষায় পরীক্ষাকালে উষ্ণতা স্থির থাকা প্রয়োজন। যাহাতে আয়তনের হ্রাস-বৃদ্ধির সময়ে A-নলের বায়ুর উষ্ণতার পরিবর্তন না ঘটে সেজন্য B-কে খুব ধীরে উঠাইতে নামাইতে হইবে। পরীক্ষাধীন বায়ু শুষ্ক (জলীয়-বাষ্প বিমুক্ত) হওয়া দরকার। সেজন্য A-নলে বায়ু ভরতি করিবার পূর্বে উহাকে ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের ভিতর দিয়া লইয়া যাইতে হইবে।

9-12. গ্যাসে আর্কিমিডিস সূত্রের প্রয়োগঃ—. আর্কিমিডিসের সূত্র গ্যাস ও তরল পদার্থ উভয়ের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। তরল পদার্থে ইহার প্রয়োগের কথা পূর্বেই বলা হইয়াছে। এখন আমরা গ্যাসে উহার প্রয়োগ সম্বন্ধে আলোচনা করিব। একটি তুলাদণ্ডের এক পাশে (9.16 A) একটি ফাঁপা হাল্কা গোলক চাপাইয়া অন্য পাশে ওজন বসাইয়া দণ্ডটি অনুভূমিক করা হইল। এইবার সমস্ত জিনিসটিকে কাচের একটি বড় পাত্রের মধ্যে রাখিয়া উহা হইতে পাম্পের সাহায্যে বাতাস বাহির করিয়া লওয়া হইল। দেখা যাইবে, তুলাদণ্ডের যে পাশে গোলকটি অবস্থিত সেই পাশ ঝুঁকিয়া পড়িয়াছে এবং অন্য পাশ উপরে উঠিয়া গিয়াছে।



চিত্র 9·16 A

গোলকটিকে যখন বাতাসে ওজন করা হইয়াছিল তখন সম-আয়তনের বায়ু স্থানচ্যুত করায় আর্কিমিডিসের সূত্র অনুসারে উহার ওজন কিছুটা কমিয়া গিয়াছিল। অন্যপাশে ধাতব ওজনগুলির আয়তন অনেক কম থাকায় উহাদের ওজন ততটা কমে নাই। বায়ু বাহির করিয়া লওয়ায় বাতাসের প্লবতা আর থাকে না এবং গোলকের ওজন পূর্বাপেক্ষা বাড়িয়া যায়। ধাতুখণ্ডের ওজন সে তুলনায় অনেক কম বাড়ে; তাই শেষ পর্যন্ত গোলকটি ভারী হইয়া নীচে ঝুলিয়া পড়ে।

উদাহরণ—এক লিটার আয়তনের একটি বস্তু প্রথমে বায়ুতে ও পরে বায়ুহীন স্থানে ওজন করা হইল। উহার ওজনের প্রভেদ কত? কোন্ সময়ের ওজন বেশী?

[বায়ুর ঘনত্ব = ·0012gm/c.c.]

আর্কিমিডিস সূত্র অনুসারে বায়ুতে ওজনের হ্রাস = স্থানচ্যুত বায়ুর ওজন = এক লিটার বায়ুর ওজন

$$= 1000\text{c.c.} \times \cdot0012\text{gm/c.c.} = 1\cdot2\text{gm}$$

ওজন বায়ুশূন্য স্থানে বেশী।

বেলুন—উপরি-উক্ত পরীক্ষায় বায়ুর প্লবতার প্রমাণ পাওয়া গেল। প্লবতার জন্য তরল পদার্থে নিমজ্জিত, তরল অপেক্ষা হাল্কা বস্তু যেমন ভাসিয়া উপরের

দিকে উঠিতে চাহে, সেইরূপ বায়ু অপেক্ষা হাল্‌কা বস্তু বায়ুতে নিমজ্জিত থাকিলে ভাসিয়া উপরে উঠিতে চাহিবে। কোন বস্তুর ওজন যদি স্থানচ্যুত বায়ুর ওজন অপেক্ষা কম হয় তবেই উহা ঐ বায়বীয় পদার্থে ভাসিয়া ওঠে।

বায়ুর এই প্লবতাকে কাজে লাগাইয়া বেলুন তৈয়ারী হয়। আকাশে ফানুস উড়ান প্রায় সকলেই দেখিয়াছ। কাগজের একটি বড় ব্যাগের নীচের গোল মুখের কেন্দ্রে খানিকটা কাপড় রাখিয়া তাহাতে আগুন দেওয়া হয়। ইহাতে কাগজের ব্যাগটি গরম বাতাসে ভরিয়া ওঠে। ফানুসের ভিতরের উত্তপ্ত বায়ুর ঘনত্ব বাহিরের বায়ুর ঘনত্ব অপেক্ষা কম। এই অবস্থায় বায়ুসমেত ফানুসের ওজন যদি স্থানান্তরিত বায়ুর ওজন অপেক্ষা কম হয় তবে ফানুস উপরে উঠিতে থাকে।

গরম বাতাস ব্যবহারের অসুবিধা এই যে ঠাণ্ডা হইয়া গেলেই ফানুস বা বেলুন নীচে নামিতে থাকিবে। এইজন্য পরবর্তী কালে বেলুনে হাইড্রোজেন গ্যাস ব্যবহার করা হয়। ইহা সর্বাপেক্ষা হাল্‌কা গ্যাস এবং ইহার ঘনত্ব বায়ুর 14·4 ভাগের এক ভাগ। ইহার সাহায্যে বেলুন খুব সহজে উপরে উঠিতে পারে। এই সমস্ত বেলুন সিল্ক বা অন্য কোন হাল্‌কা দ্রব্য দিয়া মজবুত করিয়া তৈয়ারী করা হয় যাহাতে উহা সহজে ফাঁসিয়া না যাইতে পারে। তাহা ছাড়া সিল্কের সুতার ফাঁকগুলি এমন কোন বস্তু দিয়া বন্ধ করা হয়, যাহাতে উহার মধ্য দিয়া বাতাস না যাইতে পারে। বেলুনের নীচে যাত্রী বহন করিবার ব্যবস্থা থাকিতে পারে। বেলুন উপর হইতে নীচে নামাইতে হইলে একটি ছিদ্রের মধ্য দিয়া গ্যাস বাহির করিয়া দেওয়া হয়। উপরে উঠিয়া বেলুন কোন্ দিকে চলিবে তাহা বায়ুর গতির উপর নির্ভর করে। ইহাতে আরোহীর কোন হাত নাই। এই অসুবিধা দূর করিবার জন্য জার্মানীর হের ফন ৎসেপেলিন (জেপেলিন) উড়োজাহাজ নির্মাণ করেন। এই সমস্ত উড়োজাহাজকে বিশেষ আকৃতির বেলুন বলা যাইতে পারে। উহার সহিত মোটর ও প্রপেলার যোগ করিয়া উহাকে ইচ্ছামত বিভিন্ন দিকে চালনা করার ব্যবস্থা করা হয়। এই উড়োজাহাজ হাইড্রোজেন গ্যাস ভর্তি বলিয়া শূন্যে ভাসিতে পারে। প্রথম মহাযুদ্ধে জার্মানী এইরূপ উড়োজাহাজ ব্যবহার করে। হাইড্রোজেন গ্যাস সহজদাহ্য পদার্থ। তাই উড়োজাহাজে সহজেই আগুন লাগিয়া যাইতে পারে। এইজন্য পরে উড়োজাহাজে হিলিয়াম গ্যাস ব্যবহার করা হয়। এই গ্যাস হাইড্রোজেন অপেক্ষা ভারী হইলেও বায়ু

অপেক্ষা অনেক হাল্‌কা, তুলনায় বায়ুর ৭'২ ভাগের এক ভাগ ও হাইড্রোজেনের দ্বিগুণ। বাতাসে খুব সামান্য পরিমাণ হিলিয়াম আছে। উড়োজাহাজ বা বেলুনের জন্য যে হিলিয়াম গ্যাস ব্যবহার করা হয়, তাহা প্রধানত আমেরিকার যুক্তরাষ্ট্রে যে প্রচুর পরিমাণ সঞ্চিত হিলিয়ামের সন্ধান পাওয়া গিয়াছে, তাহা হইতেই সংগ্রহ করা হয়।

যুদ্ধ বা অন্যান্য কাজে আজকাল উড়োজাহাজের পরিবর্তে এরোপ্লেন ব্যবহৃত হইয়া থাকে। বহু ঊর্ধ্বে বায়ুর বিশেষ গুণাগুণ অনুসন্ধানের কার্যে বেলুন ব্যবহৃত হয়। মনে রাখিতে হইবে যে বেলুনের উত্তোলক বল = বেলুন দ্বারা স্থানচ্যুত বায়ুর ওজন − বেলুনের ভিতরের গ্যাসের ওজন। বেলুনের আয়তন V, বায়ুর ঘনত্ব ρ ও গ্যাসের ঘনত্ব ρ' হইলে উত্তোলক বল $= V(\rho - \rho')g$।

উদাহরণ। কোন বেলুনের আয়তন 500 ঘন মিটার। উহাকে হাইড্রোজেন দ্বারা পূর্ণ করা হইল। হাইড্রোজেনের ঘনত্ব ·089 gm/litre। বেলুনের বাহিরে বায়ুর ঘনত্ব 1·25 gm/litre। বেলুনের ওজন 200 kg হইলে উহার কার্যকরী উত্তোলক বল কত?

1 cu. metre $= (100\ \text{cm})^3 = 10^6$ c.c. $= 1000$ litres ;

প্লবতার জন্য বেলুনে ঊর্ধ্বমুখী বল = স্থানচ্যুত

বায়ুর ওজন = 500,000 litres × 1·25 gm/litre এর ওজন

= 625000 gm. wt. = 625 kg. wt.।

নিম্নমুখী বল দুইটি—(1) হাইড্রোজেনের ওজন, (2) বেলুনের ওজন।

হাইড্রোজেনের ওজন = 500,000 × ·089 gm. wt.

= 44500 gm. wt. = 44·5 kg. wt.

∴ প্লবতা-জনিত উত্তোলক বল = 625 − 44·5 = 580·5 kg. wt. ;

বেলুনের ওজন = 200 kg. wt.

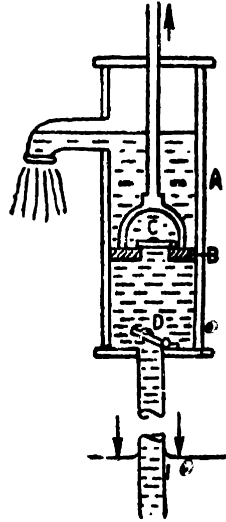
∴ কার্যকরী উত্তোলক বল = 625 kg. wt − 244·5 kg. wt.

= 380·5 kg. wt.

9-13. বিবিধ পাম্প ঃ—বায়ুমণ্ডলের চাপের সাহায্যে জল বা অন্য যে কোন তরল নীচ হইতে উপরে তোলা যায়। যে যন্ত্রের সাহায্যে ইহা করা যায়, তাহাকে পাম্প (Pump) বলে। পাম্প নানা গঠনের হইতে পারে।

(1) **সাধারণ পাম্প (Suction pump)**—মাটির নীচ হইতে টিউবওয়েল প্রভৃতির সাহায্যে জল তুলিতে এই পাম্প ব্যবহৃত হয়। পরের পৃষ্ঠায় 9·17 চিত্র হইতে ইহার কাজ করিবার প্রণালী স্পষ্ট বুঝা যাইবে।

A সিলিণ্ডারের মধ্যে B পিস্টনটি এমনভাবে লাগান আছে যাহাতে দুয়ের মধ্য দিয়া বাতাস যাওয়া আসা না করিতে পারে। পিস্টনের মাথায় একটি ভাল্‌ভ C লাগান আছে। ভাল্‌ভটি উপরের দিকে খোলে অর্থাৎ উহা নীচের জল উপরে উঠিতে দেয়, কিন্তু উপরের জল নীচে নামিতে দেয় না। Aর সঙ্গে একটি নল লাগান আছে। নলটি মাটি ভেদ করিয়া নীচে জলের স্তর পর্যন্ত যায়। D আর একটি ভাল্‌ভ। ইহাও উপর দিকে খোলে। প্রথম অবস্থায় ধরা যাউক A বা নীচের নলের মধ্যে কোথাও জল নাই। B পিস্টনটিকে নিম্নতম অবস্থান হইতে উপরে উঠান হইলে Bর নীচের বাতাসের আয়তন বাড়িয়া যাওয়ায় উহার চাপ কমিয়া যাইবে, ফলে D ভাল্‌ভটি খুলিয়া গিয়া নলের মধ্যকার বাতাস বাহির হইয়া C ও Dর মধ্যবর্তী অঞ্চলে আসিবে। এই অবস্থায় Bকে নীচে নামাইলে C ও Dর মধ্যবর্তী বাতাস সংনমিত হইয়া D বন্ধ হইয়া যাইবে ও C খুলিয়া গিয়া সংনমিত বায়ু বাহির হইয়া আসিবে। পুনরায় Bকে উপরে উঠাইলে কিছু বাতাস নল হইতে বাহির হইয়া আসিবে। এইরূপে নলের মধ্যকার বাতাসের চাপ কমিতে থাকিবে এবং বাহিরের বাতাসের চাপ নলের মধ্যে জল ঠেলিয়া তুলিবে। ক্রমে নলটি জলপূর্ণ হইয়া যাইবে।



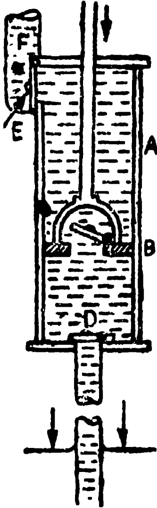
চিত্র 9·17

এই অবস্থায় পিস্টনটি উপরে তুলিলেই ভাল্‌ভ D খুলিয়া গিয়া জল Aর মধ্যে প্রবেশ করিবে। পরে Bকে নীচের দিকে নামাইবার সময় জলের উপর চাপ পড়িয়া D ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যাইবে এবং C খুলিয়া গিয়া উহার উপরের অংশে জল প্রবেশ করিবে। এখন পিস্টন উপরে উঠাইলে জলের চাপে C বন্ধ হইয়া যাইবে এবং পূর্বের ন্যায় D খুলিয়া গিয়া Aর মধ্যে আবার নল হইতে জল প্রবেশ করিবে। Bর উপরাংশের জল এই সময় পাম্পের মুখ দিয়া বাহির হইয়া যাইবে। এইরূপে প্রতিবার পিস্টন নীচে নামিবার সময় Cর উপরে জল সঞ্চিত হইবে এবং পিস্টন উপরে তুলিবার সময় উহা বাহির হইবে।

মনে রাখিতে হইবে যে এ ক্ষেত্রে পিস্টনের টানে জল উঠে না; জল উঠিতেছে

বায়ুমণ্ডলের চাপের জন্য। মাটির নীচে জলের স্তরের উপরেও বায়ুমণ্ডলের চাপ পড়িতেছে। আমরা জানি যে বায়ুমণ্ডলের চাপ জলকে 34 ফুট পর্যন্ত তুলিতে পারে। অতএব সাধারণ পাম্পের সাহায্যে 34 ফুটের বেশী গভীরতা হইতে জল তোলা সম্ভব নয়। কার্যত জল এইভাবে 28-30 ফুটের বেশী তোলা যায় না। পিস্টনের পাশ দিয়া বায়ু চলাচল সম্পূর্ণ বন্ধ করা সম্ভব নয় বলিয়াই এইরূপ হইয়া থাকে। A সিলিণ্ডারে জলীয় বাষ্প থাকে এবং তাহা নিম্নাভিমুখী একটি চাপ দেয়। জল পুরাপুরি 34 ফুট না উঠিবার জন্য এই চাপও অংশত দায়ী।

(2) **লিফ্‌ট্ পাম্প (Lift Pump)**—পাম্প যেখানে অবস্থিত সেখান হইতে আরও উপরে জল তুলিবার জন্য লিফ্‌ট্ পাম্প ব্যবহার করা যায়। সাধারণ পাম্পকে একটু পরিবর্তিত করিলেই লিফ্‌ট্ পাম্প (9.18 চিত্র) হয়। সাধারণ পাম্পে যেখানে জল বাহির হইবার মুখ সেখানে একটি ভাল্‌ভ E (9.18 চিত্র) ও একটি নল F লাগান হয়। জল যেখানে তুলিতে হইবে, F নল সেই পর্যন্ত যায়। E ভাল্‌ভটি বাহিরের দিকে খোলে, অর্থাৎ জল A হইতে Fএর মধ্যে যাইতে পারে, কিন্তু F হইতে বাহির হইয়া Aতে আসিতে পারে না।

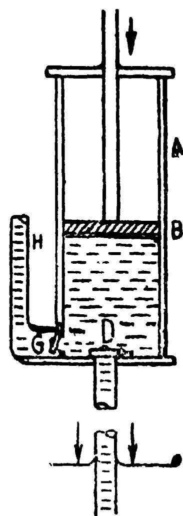


চিত্র 9·18

এই পাম্পের কার্যপ্রণালী সাধারণ পাম্পেরই মত। প্রভেদ এইমাত্র যে B উপরে উঠিলে আগে যে জল পাম্পের মুখ দিয়া বাহির হইয়া যাইত, এখন তাহা F নলের মধ্য দিয়া উপরে উঠে। পাম্প চলিতে থাকিলে Fএর মধ্য দিয়া জল ক্রমশই উপরে উঠিতে থাকে। F নলে 34 ফুটের বেশীও জল তোলা যায়, কারণ এখানে পিস্টনে বল প্রয়োগ করিয়া জল উপরে উঠান হইতেছে, বায়ুমণ্ডলের চাপের সাহায্যে নহে। মনে রাখিতে হইবে যে ভাল্‌ভের উপরে Fএর মধ্যস্থিত জলের যে মোট thrust পড়িতেছে তাহার বিরুদ্ধে ক্রিয়া করিয়া জল উপরে তুলিতে হয়। পেট্রোল পাম্পে মাটির নীচে চৌবাচ্চায় রাখা তেল উপরে তুলিতে লিফ্‌ট্ পাম্প ব্যবহার হয়।

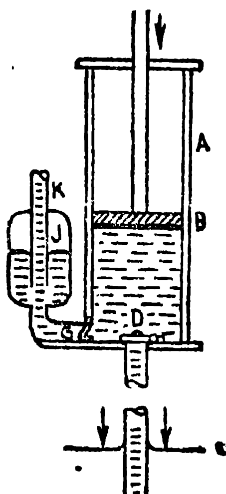
(3) **ফোর্স পাম্প (Force Pump)**—জল উপরে তুলিতে এই পাম্পও ব্যবহৃত হয়। এখানে পিস্টনটি নিরেট (9·19 চিত্র) এবং উহার মাথায়

কোন ভাল্‌ভ নাই। পূর্বের ন্যায় D ভাল্‌ভ উপরে খোলে আর G ভাল্‌ভ H নলের ভিতরের দিকে খোলে। পিস্টন উপরে উঠিবার সময় D খুলিয়া গিয়া Aতে জল উঠে। পিস্টন যখন নীচে নামে তখন D ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া G খুলিয়া যায় এবং জল Hএর মধ্য দিয়া উপরে উঠে। এইরূপে প্রতিবারে নীচে নামিবার সময় পিস্টনটি খানিকটা জল Hএর মধ্য দিয়া উপরে ঠেলিয়া তুলে। লিফ্‌ট পাম্পের মত এখানে পিস্টনে প্রযুক্ত বলের জন্য জল H নলের মধ্য দিয়া উপরে উঠে, বায়ুমণ্ডলের চাপে নয়। কিন্তু প্রত্যেকটি পাম্পেই Aর নীচের নলে যে জল উঠে তাহা বায়ুমণ্ডলের চাপের জন্য।



চিত্র 9·19

(4) **অবিরাম পাম্প**—উপরোক্ত সমস্ত পাম্পেই জলের প্রবাহ সবিরাম (intermittent) হয়। জল অবিরত প্রবাহিত হইবে এরূপ ব্যবস্থাও করা সম্ভব। Force Pumpকে নিম্নলিখিত উপায়ে খানিকটা পরিবর্তিত করিলে অবিরাম জল-প্রবাহ পাওয়া যাইতে পারে। এইরূপ পাম্প 9·20 চিত্রে দেখান হইয়াছে।

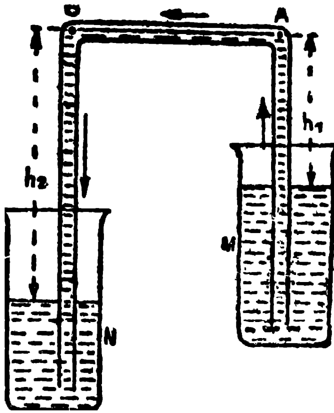


চিত্র 9·20

H নলটিকে সোজা উপরে না তুলিয়া উহার সহিত অন্য একটি পাত্র J যুক্ত করা হয়। আর একটি নল K, Jর ভিতরে ঢুকান থাকে। পিস্টন চালনা করিতে থাকিলে জল ক্রমশ Jর মধ্যে জমা হইতে থাকিবে। Jর ভিতরে বাতাস সংনমিত হওয়ায় জলের উপর চাপ দিবে। এই চাপে জল Kর মধ্য দিয়া উপরে উঠিতে থাকিবে। পিস্টনের কাজ Jর মধ্যে জল জমান ও বায়ুকে সংনমিত রাখা। বায়ুর কাজ চাপ দিয়া জল উপরে তোলা।

9-14. সাইফন (Siphon)—সাইফনের সাহায্যে উপরে অবস্থিত কোন পাত্র হইতে নিম্নে অবস্থিত কোন পাত্রে না ঢালিয়া জল স্থানান্তরিত করা

যায়। মোটামুটি U-আকারের যে কোন নলকে সাইফনরূপে ব্যবহার করা যাইতে পারে। **সাইফন-নলের এক বাহু অন্য বাহু অপেক্ষা বেশী লম্বা হওয়া দরকার।** প্রথমে সমস্ত নল-টিকে জলপূর্ণ করিয়া দুই আঙ্গুলে উহার দুই মুখ আটকাইয়া নলটিকে M ও N (9.21 চিত্র) এই দুই পাত্রের উপর উল্টাইয়া দেওয়া হইল। এখন আঙ্গুল ছাড়িয়া দিলে দেখা যাইবে যে M হইতে জল সাইফনের মধ্য দিয়া Nএ স্থানান্তরিত হইতেছে। যতক্ষণ পর্যন্ত না উভয় পাত্রে জলের লেভেল সমান হয়, ততক্ষণ পর্যন্ত জল স্থানান্তরিত হইবে।



চিত্র 9.21

সাইফনের ক্রিয়া—ধরা যাউক A ও B একই অনুভূমিক সমতলে অবস্থিত সাইফনের দুই বাহুস্থ দুইটি বিন্দু। B হইতে জল অভিকর্ষের প্রভাবে Nএ পড়িবে, ইহা স্বাভাবিক মনে হইতে পারে। কিন্তু A হইতে জল Bতে যাইবে কেন এবং M পাত্রের জলই বা অভিকর্ষের নিয়ম লঙ্ঘন করিয়া উপরে উঠিবে কেন ?

মনে কর M পাত্রে জলের পৃষ্ঠ হইতে Aর উচ্চতা h_1 এবং Nএর জলপৃষ্ঠ হইতে Bর উচ্চতা h_2। N পাত্রে জল-পৃষ্ঠের উপরে চাপ = বায়ুমণ্ডলের চাপ = P
$\therefore$ B বিন্দুতে চাপ P_B = বায়ুমণ্ডলের চাপ $- h_2$উচ্চতার তরল পদার্থের চাপ $= P - h_2\rho g$, অর্থাৎ

$$P = P_B + h_2\rho g\;;$$

অনুরূপে Mএর জলপৃষ্ঠের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ বলিয়া A বিন্দুতে চাপ

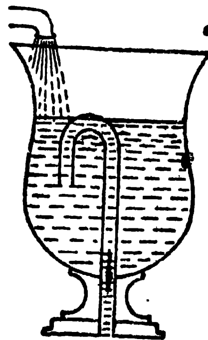
$$P_A = P - h_1\rho g \text{ অর্থাৎ } P = P_A + h_1\rho g$$

$$\therefore\quad P_A + h_1\rho g = P_B + h_2\rho g$$

কিন্তু যেহেতু $h_1 < h_2$, অতএব $P_A > P_B$, অর্থাৎ A বিন্দুতে চাপ B বিন্দুর চাপ **অপেক্ষা** বেশী। **অতএব A হইতে জল Bর দিকে যায় ও সেখান হইতে N পাত্রে পড়ে। A হইতে জল চলিয়া গেলে সেখানে শূন্যের সৃষ্টি হয়**

এবং বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপ M পাত্র হইতে জল ঠেলিয়া উপরে তোলে। এইরূপে জল M পাত্র হইতে N পাত্রে যায়। M হইতে Nএ জল যাওয়ার ফলে $h_1 = h_2$ হইলে $P_A = P_B$ হয়; তখন আর A হইতে Bতে জল আসে না এবং সাইফনের ক্রিয়া বন্ধ হইয়া যায়। স্মরণ রাখিতে হইবে যে বায়ুমণ্ডলের চাপই M হইতে জল ঠেলিয়া উপরে তুলিতেছে; কাজেই h_1 যদি 34 ফুটের বেশি হয় (জল-চাপমান যন্ত্রের (Water barometer) উচ্চতার অধিক হয়) তবে আর সাইফন কাজ করিবে না।* সাইফন বায়ুশূন্য স্থানে রাখিলেও উহা কাজ করিবে না, কারণ উহার ক্রিয়ার জন্য M পাত্রের তরলে বায়ুমণ্ডলের চাপ পড়া দরকার।

ট্যাণ্টালাস† কাপ (Tantalus Cup)—সাইফনের সাহায্যে সবিরাম জলপ্রবাহ সৃষ্টি করা যায়। 9·22 চিত্রে সাইফনের বাঁকা নল একটি পাত্রের মধ্যে বসান আছে। পাত্রের উপরের কল খুলিয়া দিলে পাত্রে জল পড়িতে থাকিবে। জল সাইফনের মাথা পর্যন্ত পোঁছাইলে সাইফন কাজ করিতে শুরু করিবে অর্থাৎ উহার ভিতর দিয়া জল বাহির হইয়া যাইতে থাকিবে। পাত্রের জলপৃষ্ঠ নামিতে নামিতে সাইফন নলের ক্ষুদ্রতর বাহুর মুখ পর্যন্ত আসিলে জল বাহির হওয়া বন্ধ হইবে। আবার জল বাড়িয়া সাইফন-নলের উপর পর্যন্ত পোঁছিলে জল বাহির হইতে শুরু করিবে।



চিত্র 9·22

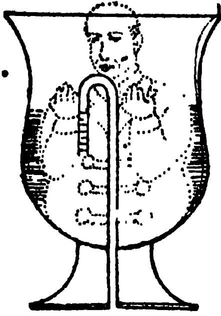
ট্যাণ্টালাস কাপে (9·23 চিত্রে) উপরি-উক্ত ব্যবস্থা প্রয়োগ করা হয়। একটি পাত্রে একটি পুতুল বসান। পুতুলের ভিতরে সাইফন লুকান থাকে।

---

*h_1 এর মান সর্বোচ্চ কত হইলে সাইফন কাজ করিবে না তাহা নির্ভর করে M পাত্রস্থ তরলের ঘনত্বের উপর। যে তরলই লওয়া যাউক না কেন, পাত্রে তরলের উপরের নলে তরলের যে স্তম্ভ তাহার চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান বা বেশি হইলে সাইফন কাজ করিবে না। ঐ স্তম্ভের চাপ $h_1 \rho g$। অতএব $h_1 \rho g = P$ হইলেই সাইফন ক্রিয়া করিবে না।

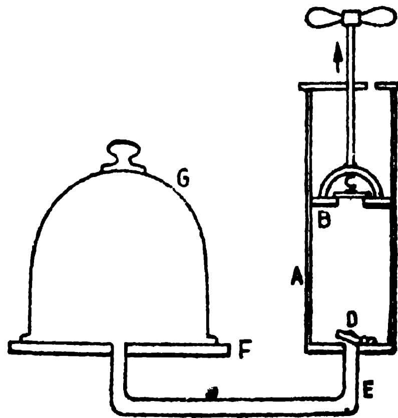
† ট্যাণ্টালাস গ্রীক পুরাণে বর্ণিত একজন রাজা। কোন কারণে দেবতারা ক্রুদ্ধ হইয়া তাঁহাকে শাপ দেন যে তিনি আকণ্ঠজলে দাঁড়াইয়া থাকিবেন, কিন্তু পান করিতে গেলেই জল সরিয়া যাইবে।

বাহির হইতে উহা দেখা যায় না। সাইফনের মাথা পুতুলের ঠোঁটের নীচে থাকে। কাজেই পাত্রে জল ঢালিলে জল পুতুলের ঠোঁট পর্যন্ত না পৌঁছিয়া সাইফনের মধ্য দিয়া বাহির হইয়া যাইবে। ট্যান্টালাসের মুখে আর জল কিছুতেই পৌঁছাইবে না। চতুর্দিকে জল বেষ্টিত থাকিয়াও সে চিরতৃষ্ণার্ত রহিয়া যাইবে।



চিত্র 9 23

9·15. Vacuum Air Pump বা **Exhaust Pump (বায়ুনিষ্কাশন যন্ত্র)**— 9·24 চিত্রে একটি বায়ুনিষ্কাশন যন্ত্র বা Exhaust pumpএর নক্সা দেওয়া হইয়াছে। A সিলিণ্ডারের সঙ্গে পিস্টন B সংযুক্ত। পিস্টনের মাথায় C ভাল্‌ভ উপরের দিকে খোলে। Aর নীচে E নল যোগ করা। E নলের অন্যপ্রান্তে লোহার বা পিতলের একখানা মসৃণ চাকৃতি F লাগান। G কাচের একটি বড় পাত্র (Bell jar), উহার নীচের মুখ মসৃণ ও খোলা। G Fএর উপর বসাইয়া দিলে উহার ভিতরের বায়ুর সহিত Aর সংযোগ স্থাপিত হয়। D ভাল্‌ভটি Eর মুখে বসান এবং উহা উপর দিকে খোলে। পিস্টন Bকে নিম্নতম অবস্থান হইতে উপরে তুলিলে C ও Dর মধ্যবর্তী অঞ্চলের আয়তন বাড়ায় ঐ স্থানে বায়ুর চাপ বয়েল সূত্র অনুসারে কমে। বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপে C ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায় এবং Gর ভিতরস্থ বায়ুর চাপে D খুলিয়া Gর ভিতর হইতে খানিকটা বায়ু Aতে প্রবেশ করে। B যখন নীচে নামে তখন C ও Dর মধ্যবর্তী বায়ু সংনমিত হইয়া D বন্ধ হয় ও C খোলে। ফলে কিছু বাতাস C দিয়া বাহির হইয়া যায়। Bকে বার বার এইভাবে উঠানামা করাইলে G ক্রমশ বায়ুশূন্য হইতে থাকে। ভাল্‌ভ যত হালকা



চিত্র 9 24

হয় Gর ভিতরে শূন্যতা (Vacuum) তত বাড়ে। C বা D খুলিবার জন্য উহাদের যে কোনটির দুইপাশে চাপের যে ন্যূনতম প্রভেদ থাকা দরকার, Gর বায়ুর চাপ তাহা অপেক্ষা কম করা যায় না। কাজেই এই পাম্পে কতটা শূন্যতার সৃষ্টি করা যাইবে তাহা কার্যত ভাল্‌ভের ওজন দিয়া নির্দিষ্ট হয়। Gর ভিতরস্থ বায়ুর চাপ শূন্যতার মাত্রা (Degree of vacuum) প্রকাশ করে। এই যন্ত্রে বায়ুর চাপ দুই-এক মিলিমিটার পারার চাপ অপেক্ষা বিশেষ কম করা যায় না। তাহা হইলেও, দেখা যাইতেছে যে বায়ুর 500 ভাগের প্রায় 499 ভাগই বাহির করিয়া দেওয়া যায়। (প্রসঙ্গত এখানে বলা যাইতে পারে যে, পাম্পের সাহায্যে কোন পাত্রই সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য করা যায় না।)

এই পাম্প সবিরাম কাজ করে। অবিরত কাজ পাইতে হইলে এইরূপ দুইটি পাম্প এরূপভাবে সংযুক্ত করিতে হয় যে একটিতে পিস্টন যখন নীচে নামে, অন্যটিতে পিস্টন তখন উপরে উঠে। এইরূপ পাম্পকে Double barrel pump বলে।

বায়ুর ঘনত্ব কি হারে কমে—পিস্টন কয়েকবার উঠানামা করার পর Gতে বায়ুর চাপ বা ঘনত্ব কত হইবে তাহা নিম্নলিখিত উপায়ে বাহির করা যায়।

ধরা যাউক Gর আয়তন V এবং পিস্টন Bর সর্বনিম্ন ও সর্বোচ্চ অবস্থানের মধ্যকার আয়তন v। প্রথমে Gতে বায়ুর চাপ P_0। পিস্টন একবার উঠানামা করায় Gর বায়ুর আয়তন বাড়িয়া $V+v$ এবং চাপ কমিয়া P_1 হয়। বয়েল সূত্র অনুসারে

$$P_1(V+v)=P_0V$$

$$\therefore P_1=\frac{V}{V+v}P_0$$

পিস্টনের দ্বিতীয়বার উঠানামার পর V আয়তন ও P_1 চাপবিশিষ্ট বায়ু প্রসারিত হইয়া $V+v$ আয়তন ও P_2 চাপবিশিষ্ট হইবে। অতএব,

$$P_2(V+v)=P_1V\ ;$$

$$\therefore\ P_2=\left(\frac{V}{V+v}\right)^2P_0$$

অনুরূপে দেখান যায় যে পিস্টন n বার উঠানামা করিলে Gর বায়ুর চাপ

$$P_n=\left(\frac{V}{V+v}\right)^nP^0$$ হইবে।

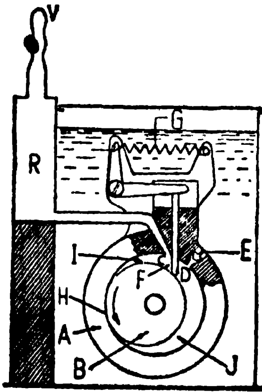
আবার যেহেতু $P \propto \rho$ (ρ = ঘনত্ব), অতএব এই সময় বায়ুর ঘনত্ব

$$\rho_n = \left(\frac{V}{V+v}\right)^n \rho_0 \quad [\rho_0 \text{ Gর বায়ুর প্রাথমিক ঘনত্ব}]$$

এই সমীকরণ হইতে দেখা যায় n যত বাড়ে ρ_n তত কমে, কিন্তু কখনও শূন্য হয় না।

আবর্তক পাম্প (Rotary Pump)—উপরে যে পিস্টন-পাম্পের বর্ণনা দেওয়া হইয়াছে তাহা বেশী শূন্যতার সৃষ্টি করিতে পারে না এবং উহার ক্রিয়াও দ্রুত নহে। এই কারণে বর্তমানে পিস্টন-পাম্পের প্রয়োগ অনেকটা বিরল হইয়া আসিয়াছে। দ্রুত কাজ করিবার জন্য এবং অধিক মাত্রায় শূন্যতা (·001 হইতে ·0001 মিলিমিটার পারার চাপ) পাইবার জন্য বিদ্যুচ্চালিত আবর্তক পাম্প (Rotary pump) ব্যবহার করা হয়।

9·25 চিত্রে আবর্তক পাম্পের নক্সা দেওয়া হইল। A ইস্পাতের একটি ফাঁপা স্তম্ভক। উহার ভিতরে আর একটি স্তম্ভক B উৎকেন্দ্রিক (eccentric) ভাবে ঘুরিতে পারে। B ঘুরিবার সময় Aর দেওয়াল স্পর্শ করিয়া ঘোরে। Aর গায়ে C ও D দুইটি ছিদ্র। C বায়ুর আগম পথ (inlet); D নির্গম পথ (outlet)। যে পাত্র বায়ুশূন্য করিতে হইবে তাহা মোটা রবারের নলের সাহায্যে পাম্পের V নলের সঙ্গে সংযুক্ত করিলে, পাত্র হইতে বায়ু Cর মধ্য দিয়া Aর ভিতরে আসিতে পারে। D নলের মুখে একটি ভাল্‌ভ E আছে। Dর নীচে বায়ুর চাপ বাড়িলে E ভাল্‌ভ খুলিয়া বায়ু বাহির হইয়া যায়। F একখানা লোহার পাত। উহা Aর দেওয়ালের মধ্য দিয়া গিয়া Bর গায়ে চাপিয়া থাকে। G স্প্রিং একটি লিভারের সাহায্যে উহাকে চাপিয়া রাখে। F পাত থাকার জন্য বায়ু সোজাসুজি C হইতে Dতে যাইতে পারে না।

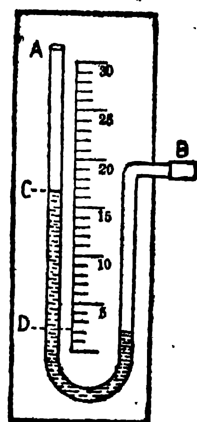


চিত্র 9·25

ক্রিয়া—ধরা যাউক B তীর-চিহ্নিত দিকে (ঘড়ির কাঁটার বিপরীতে) ঘোরে। আলোচ্য মুহূর্তে A ও Bর স্পর্শ H বিন্দুতে হইলে, B ঘুরিবার সময়

Hএর পিছনের I অংশে Cর মধ্য দিয়া আরও বায়ু প্রবেশ করে, এবং সম্মুখের J অংশের বায়ু সংনমিত হয়। যথেষ্ট সংনমিত হইলে বায়ুর চাপে E ভাল্ভ খুলিয়া Jর বায়ু D দিয়া বাহির হইয়া যায়। B ঘুরিতে থাকিলে H বিন্দু যখন C অতিক্রম করে তখন পাত্র হইতে নূতন বায়ু C দিয়া Hএর পিছনে জমে, এবং পূর্বেকার আসা বায়ু Hএর সম্মুখের দিকে সংনমিত হইতে থাকে। এইরূপে Bর প্রতি আবর্তনে পাত্র হইতে কিছুটা বায়ু বাহির হইয়া যায় ও শূন্যতার সৃষ্টি হইতে থাকে। Bকে বৈদ্যুতিক মোটরের সাহায্যে ঘোরান হয়। ইহাতে ক্রিয়া খুব দ্রুত হয়। নিম্নচাপ অংশে যাহাতে বায়ু প্রবেশ করিতে না পারে সেইজন্য পাম্পের সচল অংশগুলি তেলে ডুবান থাকে। পাম্প বন্ধ করিবার পর যদি বায়ুশূন্য পাত্রের সহিত যুক্তই থাকিয়া যায়, তাহা হইলে বায়ুমণ্ডলের চাপে পাম্পের মধ্যে তেল ঢুকিয়া পাত্রে চলিয়া যাইতে পারে। ইহা নিবারণের জন্য R প্রকোষ্ঠ দেওয়া হয়। তেল এখানেই থাকিয়া যায়, পাত্রে যাইতে পারে না।

9·16. Manometer (**প্রেষমান**)—বদ্ধ পাত্রে অবস্থিত কোন গ্যাসের চাপ মাপিবার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাহাকে **Manometer** বলে। ইহারা নানাপ্রকারের হইতে পারে। গ্যাসের চাপ ও বায়ুমণ্ডলের চাপে বেশী প্রভেদ না থাকিলে **উন্মুক্ত প্রেষমান (Open-tube Manometer)** ব্যবহার করা সুবিধাজনক। ইহা দেখিতে একটি U-নলের মত (9·26 চিত্র) এবং ইহার উভয় মুখ খোলা। নলে তরল পদার্থ থাকে। চাপের প্রভেদ কম হইলে হালকা তরল, যেমন তেল, রাখা সুবিধা। প্রভেদ বেশী হইলে পারদ রাখা হয়। নলের এক মুখ (চিত্রের B) গ্যাসপাত্রের সহিত সংযুক্ত করা হয়; অন্য মুখ খোলা থাকে। গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা বেশী হইলে উহা তরলকে ঠেলিয়া খানিকটা উপরে তোলে। দুই বাহুর তরলের



চিত্র 9·26

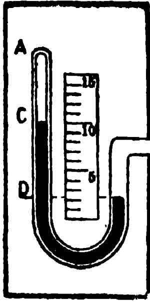
লেভেলের পার্থক্য $CD = h$, তরলের ঘনত্ব ρ, ও বায়ুমণ্ডলের চাপ P_0 হইলে, গ্যাসের চাপ

$$P = P_0 + h\rho g$$

গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কম হইলে, বায়ুমণ্ডলের চাপে তরল পাত্রসংলগ্ন বাহুতে খানিকটা উঠিয়া যায়। লেভেলের প্রভেদ h হইলে এবারে

$$P = P_0 - h\rho g$$

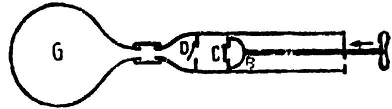
• গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা অনেক কম হইলে **রুদ্ধমুখ প্রেষমান** (**Closed-tube Manometer**) ব্যবহার করা সুবিধা। ইহার এক মুখ বন্ধ (9·27 চিত্র)। বন্ধ বাহু পুরাপুরি পারদ দিয়া ভরিয়া পূর্বোক্ত প্রেষমানের মতই ইহা ব্যবহার করা হয়। দুই বাহুতে লেভেলের যে প্রভেদ তজ্জনিত চাপই গ্যাসের চাপ।



চিত্র 9·27

9-17. Air Compression Pump বা Condensing Pump—

এই পাম্পের সাহায্যে বন্ধ পাত্রে সংনমিত বায়ু ঢুকান যায়। একটি সিলিণ্ডারে B পিস্টন লাগান আছে (9·28 চিত্র)। পিস্টনের C ভাল্‌ভ **ভিতর দিকে** খোলে। পাম্পের মুখে একটি ভাল্‌ভ D লাগান আছে, ইহাও ভিতরের দিকে খোলে। ধরা যাউক, G পাত্রে



চিত্র 9·28

বায়ু প্রবেশ করাইতে হইবে। রবারের মোটা নল দিয়া পাম্পের মুখের সহিত G যোগ করিয়া পিস্টন B সর্বনিম্ন অবস্থান হইতে উপর দিকে উঠাইলে C ও Dর মধ্যবর্তী স্থানে বায়ু প্রসারিত হওয়ায় উহার চাপ কমিয়া যাইবে এবং C খুলিয়া গিয়া বাহির হইতে বায়ু C ও Dর মধ্যবর্তী অঞ্চলে প্রবেশ করিবে। এই সময়ে Gর ভিতরের বায়ুর চাপে D বন্ধ থাকে। এইবার পিস্টন নীচের দিকে ঠেলিলে ভিতরের চাপ বাড়িবে এবং C বন্ধ হইয়া D খুলিয়া গিয়া Gর মধ্যে সংনমিত বায়ু প্রবেশ করিবে।

Gর বায়ুর চাপ ও ঘনত্ব নিম্নলিখিত উপায়ে হিসাব করা যায়। মনে কর Gর আয়তন V এবং Bর সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন অবস্থানের মধ্যকার আয়তন v। ধরা যাউক প্রথমাবস্থায় Gর বায়ুর ঘনত্ব $= \rho =$ বাহিরের বায়ুর ঘনত্ব।

তাহা হইলে Gতে প্রথমে যে বায়ু ছিল তাহার ভর $= V\rho$। পিস্টনের প্রতিবার উঠানামায় $v\rho$ ভরের বায়ু Gতে ঢুকান হইতেছে, অতএব n বার উঠা-নামার পর Gতে বায়ুর মোট ভর $= V\rho + nv\rho$

তখন উহার ঘনত্ব যদি ρ_n হয়, তবে

$$\rho_n V = V\rho + nv\rho$$

$$\therefore \ \rho_n = \left(1 + \frac{nv}{V}\right)\rho$$

যেহেতু $P \propto \rho$, অতএব ঐ সংনমিত বায়ুর চাপ

$$P_n = \left(1 + \frac{nv}{V}\right)P$$

এখানে P বায়ুর প্রাথমিক চাপ।

Exercises

1. What is atmospheric pressure ? What do you understand by the statement that the atmospheric pressure is 75 cm. of mercury ? Draw a neat sketch of Fortin's barometer and label its parts.

Does the reading of the barometer depend on the diameter of its tube ? Give reasons for your answer.

2. Describe an aneroid barometer. How can it be used for measuring heights ?

3. What is meant by the statement 'a pressure of one standard atmosphere' ? Calculate the height of the homogeneous atmosphere and of the water barometer, given that the density of air $=$ ·00129 gm/cm^3, density of mercury $=$ 13·6 gm./cm^3 and the height of the mercury barometer $=$ 76 cm.

4. Express the normal atmospheric pressure in (*i*) pounds per sq. inch, (*ii*) gm. per sq. cm., and (*iii*) tons per sq. ft.

What force is normally exerted by the atmosphere upon a table top measuring 3 ft. × 4 ft ?

[*Ans* : (*i*) 14·7 lb/in^2 ; (*ii*) 1034 gm. wt./cm^2 ; (*iii*) ·945 ton/ft^2, (*iv*) 11·34 tons.]

5. A lecture room is 40 ft. long, 25 ft. wide and 15 ft. high. If a cubic foot of air weighs 1·3 oz., find in pounds the weight of the air in the room. [*Ans* : 1218$\frac{3}{4}$ lb.]

6. In the Kensington Museum in London there is a glycerine barometer. If the sp. gr. of glycerine is 1·26, what is the height of the barometer under normal conditions ? [*Ans* : 820·2 cm. or 26·91 ft.]

7. A building is 30 metres high, and the average density of air at that place is 1·25 gm. per litre. What is the difference in pressure (in mm. of mercury) between the ground and the top of the building ?

[*Ans* : 2·76 mm.]

8. State Boyle's law. How can you verify it in the laboratory ?

If a barometer were not available, how could you determine the barometric height by means of a Boyle's law apparatus ?

9. A bubble of air of volume 1 c.c. is formed at a depth of 300 ft. under sea water (sp. gr. 1·03) and rises to the surface. Find its volume at the surface when atmospheric pressure is 30 inches of mercury.

[*Ans* : 10·1 c. c.]

10 A barometer whose cross-sectional area is 1 sq. cm, has a little air in the space above the mercury. It is found to read 77·0 cm. when the correct barometric height is 78 cm., and 71·0 cm. when the correct height is 71·8 cm. Determine the volume of air present in the tube measured under normal atmospheric pressure. [*Ans* : ·316 c.c.]

11. Density of air at N.T.P. is ·00129 gm./c c. Find the change in the weight of 15 litres of air when the barometer falls from 76 to 74 cm. [*Ans* : 0·509 gm.]

12. Describe an experiment to demonstrate the buoyancy of air.

A piece of cork of volume 40 c.c. weighs 10 gm. in air of density 1·2 gm./litre. What is its true weight ? [*Ans* : 10·048 gm.]

13. A toy balloon is to be filled with hydrogen (density ·09 gm/litre). When empty, the balloon weighs 5·8 gm. What volume in litres of hydrogen at normal pressure is required to make the balloon just rise when the density of air is 1·25 gm./litre ?

If the same balloon were to be filled with helium (density ·178 gm./litre) what would be the volume required ?

[*Ans* : (*i*) 5 litres ; (*ii*) 5·41 litres.]

14. At what depth below the surface of water will the total pressure be equal to 2 atmospheres if the atmospheric pressure is 1 megadyne per square centimetre ? ($g=981$ cm./sec^2). [*Ans* : 1020 cm.]

15. A lift pump is used to pump oil of specific gravity 0·8 from a lower into an upper tank. At what maximum height can the pump be placed above the lower tank when the atmospheric pressure is 76 cm. of mercury ? Give reasons for your answer. [*Ans* : 1292 cm.]

16. A bottle of volume 100 c.c. contains air at atmospheric pressure and is immersed mouth downwards in sea-water of density 1·025. How

deep should it be immersed if 20 c.c. of water is to enter the bottle ? The barometric height in the locality is 76 cm. of mercury.

[*Ans* : 252·2 cm.]

17. A glass tube of uniform section, 100 cm. long and open at both ends, is immersed vertically in a cistern of mercury so that 96 cm. of it is inside mercury. The top of the tube is now closed with the finger and the tube is raised till the air inside occupies a length of 30 cm. If the barometric height be 75 cm. of mercury, find the length of the tube projecting outside the mercury in the cistern. [*Ans* : 80 cm.]

18. What part does atmospheric pressure play in (*a*) breathing, (*b*) filling of a fountain pen with ink, (*c*) action of a vacuum cleaner ?

19. What are the laws which gases and liquids obey in common ? Give examples of the operation of these laws in the case of air.

20. Two vessels having the same volume are at the same temperature. If one contains four times the quantity of gas in the other, what will be the common pressure when the vessels are put in communication ?

21. A balloon is inflated at constant temperature and atmospheric pressure from 20 cylinders each containing 4 cft. of hydrogen gas at 51 atmospheres. Find the volume of the balloon when inflated and the maximum load it can lift. Densities of air and hydrogen under the given conditions are 0·08 and 0·0056 lb./cft. respectively.

[*Ans* : 4080 cft. ; 303·6 lb]

22. Answer the following :—

(*a*) What are the relative advantages and disadvantages of the mercury and the aneroid type of barometer ?

(*b*) Show why the constant K in the Boyle's law equation $PV = K$ is not a pure number, but has the dimensions of work.

(*c*) Could a balloon be constructed that would rise beyond the atmosphere ?

(*d*) In certain instruments pressure must be transmitted for considerable distances and to various levels. What advantages are there in using a gas as a transmitting medium rather than a liquid ? What disadvantages ?

(*e*) Cite physical principles involved in the operation of (a) a hydrometer, (b) hydraulic brakes, (c) an aspirator, (d) a mercury barometer, (e) an airship.

23. State Boyle's law and describe an experimental arrangement for verifying it for pressures less than one atmosphere. Express the normal pressure of air in absolute units. (C. U. '47)

Explain why there is difference in the readings of a barometer at Puri and at Darjeeling. (C. U.)

24. Give a brief description of Fortin's barometer explaining its adjustments. Calculate the atmospheric pressure in dynes per sq. cm. from the following data : corrected reading of barometer = 765 mm. ; $g = 980$; ρ of mercury = 1·36. (C. U. '51)

25. Give a neat sketch of any form of barometer you have used in your laboratory and give an index of parts. Give the directions for reading the atmospheric pressure pointing out the precautions necessary. Why is a thermometer always attached to a barometer ? How can you forecast weather with the help of the barometer ? (C. U. '54)

26. What do you mean by the statement that the atmospheric pressure at a place is 76 cm ? What is its measure in absolute units ?

(C. U. '57)

State Boyle's law and show how it can be verified in the laboratory for pressures higher and lower than the atmospheric pressure. (C. U '57)

27. Describe, with a neat sectional diagram, a small portable barometer and explain how it works. What is a barograph and how can you design it with the barometer you describe ? What is standard atmospheric pressure and how is it expressed in meteorology ?

(Gau. Univ. '56)

28. How has the relation between the volume and pressure at constant temperature of a gas been determined ? Give a graphical representation of the result. (Gau. Univ. '58)

29. Describe an air pump and explain its action. (C. U. '47)

30. Describe a sphion and explain the principle of its operation. State the conditions for its working. For what purpose is the siphon used ? State the conditions under which it fails to act. (C. U. '48)

31. Describe, with a neat sketch, a double barrelled air pump and explain its action. Can you get a perfect vacuum with this apparatus ? If not, why not ? Explain how the air-pump differs in operation from a water-pump. (C. U. '53)

32. How does a compression pump differ from an exhaust pump ? Describe, in detail. with a diagram, any form of compression pump and explain its mode of working. Air is forced into a vessel by a compression pump, the barrel of which has $\frac{1}{20}$ the volume of the vessel. How many strokes will increase the pressure inside the vessel from one to three atmospheres ? (C. U. '55) [*Ans* : 40]

33. Describe with a neat diagram a condensing pump and explain its mode of action. How does it differ in construction from a suction pump ? Find out an expression to show the degree of compression in a condensing pump of n strokes. (C. U. '58)

34. Describe in detail with a diagram some form of air pump and explain its working. Can you create a perfect vacuum with the pump you describe ? If not, why not ? If the barrel of an air pump is one-third the size of the receiver, what fractional part of the original air will be left after 5 strokes ? What will a barometer within the receiver read, the outside pressure being 76 cm ? (Gau. Univ. '53, '58) [*Ans* : 18 cm.]

Explain how the air-pump differs in operation from a water pump. (G. U. '58)

35. Describe a siphon and explain the principle of its operation. A siphon is used to empty a cylindrical vessel filled with mercury. The shorter limb of the siphon reaches the bottom of the vessel which is 45 inches deep : but it is found that mercury ceases to run before the vessel is empty. Explain this observation and calculate what fraction of the volume of the vessel will remain full of mercury. The barometric height may be taken as 30 inches. (Gau. Univ. '54) [*Ans* : $\frac{1}{3}$]

36. Explain clearly, with the aid of a neat sketch, the working of the usual types of lift pumps. Is there any limit to the depth from which it can raise water ? The barrel of a suction pump is 5 inches in diameter and the stroke is 8 inches. How many upward strokes of the plunger will be required to lift 1,000 gallons of water if there is 12 per cent. slip ? Given, 1 cu. ft. of water $=6{\cdot}24$ gallons. (Gau. Univ. '57)

[*Hint :* Volume of water lifted per stroke $=\pi\times(2{\cdot}5)^2\times 8$ cu. in $\times 0{\cdot}88$ because of 12 per cent. slip. Express this in cu. ft. and then in gallons. [*Ans* : 1959]

37. A siphon filled with water is placed with its shorter arm in a beaker of mercury. State and explain under what conditions the mercury will be emptied. (Utkal Univ. '55)

[*Hint* : Hydrostatic pressure due to water in the longer arm must be greater than that due to mercury in the shorter arm.]

38. With the help of a neat diagram, describe an exhaust pump and explain its action. The volume of the barrel of an exhaust pump is 100 c c. and that of the receiver 500 c.c. Find the pressure of air in the receiver after 10 complete strokes, the initial pressure being 76 cm. of mercury. [Utkal Univ. '56) [*Ans* : 12·3 cm. of mercury.]